



Avaliação das novas tecnologias de perfuração : impacto na qualidade

BRUNO EMANUEL DE SOUSA SILVA

Outubro de 2017



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Avaliação das novas tecnologias de perfuração: impacto na qualidade

Bruno Emanuel de Sousa Silva



isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P.PORTO

2017

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Avaliação das novas tecnologias de perfuração: impacto na qualidade

Bruno Emanuel de Sousa Silva

1110270

*Projeto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizado sob a orientação do Engenheiro Luís Ramos, Assistente Convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica e coorientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

*Dedico esta dissertação
à minha Família...*

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Ao Engenheiro Luís Ramos (ElevoGroup e DEG|ISEP), orientador do presente trabalho, pelo desafio e sugestão do tema desta dissertação, pelo acompanhamento e apoio prestado ao longo deste projeto, pelos ensinamentos, pela cedência de material de trabalho, pela ajuda no debate de ideias e soluções e pela disponibilidade.

Ao Engenheiro Luís Fonseca (ElevoGroup) por todo o apoio e acompanhamento, como supervisor da empresa, que concedeu durante a realização deste trabalho, quer no debate de ideias e esclarecimento de dúvidas, quer na revisão do manuscrito e cedência de bibliografia.

Ao Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP), pela cedência de material, documentação e utilização de recursos do laboratório LABCARGA para a realização desta dissertação, bem como pela discussão dos resultados geológico-geomecânicos e revisão dos mapas de zonamento geotécnico.

Ao Engenheiro Celso Midão (Elevolution, S.A.) pela sua atenciosa ajuda e ensinamentos prestados no “campo” e pela pronta disponibilidade na troca de dados de trabalho, informações e esclarecimentos de dúvidas.

Ao Engenheiro Pedro Batista (Orica Mining Services, S.A.) pelas explicações relativas ao ensaio boretrak, pela pronta disponibilidade pessoal no fornecimento, esclarecimento, debate e análise dos dados relativos aos desvios de perfuração e pelas suas sugestões e interesse no tema.

À Dra Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP), pela ida ao campo e georreferenciação das bancadas estudadas, integração dos dados de campo e cartográficos em SIG e fornecimento dos mapas auxiliares.

Ao Doutor José Teixeira (LABCARGA|ISEP) pelo auxílio prestado na cartografia vetorial e atualização dos mapas de pormenor e de zonamento geotécnico da pedreira em estudo.

À Atlas Copco, em especial ao Engenheiro Jorge Sousa, pela disponibilização da tecnologia (equipamentos e informação) de perfuração para as operações de desmonte à superfície no âmbito deste projeto.

À Elevolution, S.A, por disponibilizar a exploração para a realização dos estudos necessários para a realização deste projeto.

Ao meu colega e amigo, Engenheiro Pedro Pereira, pelos debates constantes acerca do tema e pela preciosa ajuda nos levantamentos geológico-geotécnicos e geomecânicos no campo.

A todos os meus amigos pelos laços de amizade, camaradagem e vivências. A todos os colegas com os quais me cruzei neste percurso académico e com quem tive o prazer de criar laços de amizade.

À minha namorada pela sua amizade, dedicação, incentivo e motivação neste período de realização da dissertação.

Um especial agradecimento à minha Família, pela educação e transmissão de valores, que me tornaram na pessoa que sou hoje e pela confiança, esperança e fé que sempre depositaram em mim.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Maciço Rochoso, Geomecânica, Novas tecnologias de perfuração, Desvios de perfuração.

Resumo

Este estudo centra-se na temática da perfuração de maciços rochosos e tem por objetivo a avaliação das novas tecnologias de perfuração, nomeadamente o impacto que estas ferramentas apresentam na qualidade, na perfuração de maciços rochosos fraturados. A investigação foi executada na pedreira e Serdedelo, Ponte de Lima, da Elevogroup, tendo os dados iniciais sido recolhidos em 2008 (ano de referência) e comparados com os dados recolhidos a data com a nova tecnologia. A perfuração, dependendo do seu objetivo, diâmetro e comprimento, tem um vasto leque de aplicações incluindo a perfuração para o desmonte com explosivos. Para atingir um nível de qualidade na operação global do processo de desmonte, a perfuração que está no topo da pirâmide assume papel de guia para as seguintes etapas, pelo que a qualidade dos equipamentos e acessórios e a sua correta operação são fundamentais para obter o rigor da perfuração projetada. O processo de perfuração implica uma estreita interação das ferramentas de perfuração com maciço rochoso a perfurar, como tal um conhecimento rigoroso dos parâmetros geológicos, geotécnicos, geomecânicos do maciço rochoso é indispensável, na operação de perfuração. Na caracterização do maciço rochoso, para além da pesquisa e recolha bibliográfica pretende-se recorrer a ensaios “in situ”, que permitam obter informação útil para a avaliação da compartimentação e resistência do maciço rochoso. O controlo geomecânico do desmonte do maciço rochoso através de uma perfuração alinhada é salientado com o intuito de uma abordagem de geoengenharia integrada nos maciços rochosos.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Rock mass, Geomechanics, New drilling technologies, Deviations.

Abstract

This study focuses on the drilling of rock masses and aims to evaluate new drilling technologies, namely the impact of these tools on the quality of drilling fractured rock masses. The investigation was carried out at the quarry and Serdedelo, Ponte de Lima, of Elevogroup, with initial data collected in 2008 (reference year) and compared with data collected at the date with the new technology. The drilling, depending on its purpose, diameter and length, has a wide range of applications including drilling for blasting. To achieve a level of quality in the overall operation of the blasting process, the drill at the top of the pyramid assumes the role of guide for the following steps, so the quality of the equipment and accessories and their correct operation are fundamental to obtain the rigor of the projected drilling. The drilling process implies a close interaction of the drilling tools with the rock mass to be drilled, as such a rigorous knowledge of the geological, geotechnical and geomechanical parameters of the rock mass is indispensable in the drilling operation. In the characterization of the rock mass, in addition to the bibliographical research and collection, we intend to use "in situ" and laboratory tests to obtain useful information for the evaluation of the block size and strength of the rock mass. The geomechanical control of rock mass blasting throughout an aligned drilling is highlighted with the aim of an integrated geoenvironmental approach in the rock mass.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. Introdução geral	3
1.1. Enquadramento do Tema	3
1.2. Objetivos Dentre os principais objetivos deste trabalho, podemos destacar:	4
1.3. Metodologia e estrutura	6
2. Caracterização/Compartimentação de Maciços Rochosos: Geologia, Geotecnia e Geomecânica	11
2.1. Generalidades	11
2.2. Descrição de maciços rochosos: Maciço rochoso vs Matriz rochosa	13
2.3. Metodologia e sistemática	14
2.4. Descontinuidades	17
2.5. Parâmetros Geológico-Geotécnicos das Descontinuidades	18
2.6. Parâmetros Geológicos- Geotécnicos: Caracterização Global do Maciço Rochoso	24
2.7. Classificação Geomecânica do Maciço Rochoso	29
2.7.1. Técnica da Amostragem Linear – SCANLINE	29
2.7.2. Esclerómetro portátil – Martelo de Schmidt	30
3. Desmonte de Maciços Rochosos: Perfuração	33
3.1. Generalidades	33
3.2. Desvios de perfuração	37
3.2.1. Tipos de desvios	38
3.3. Parâmetros intervenientes na génese do tipo e amplitude dos desvios de perfuração	41
3.3.1. Parâmetros do Maciço Rochoso	41
3.3.2. Ferramentas de execução	42
3.3.3. Geometria o diagrama de fogo	51
3.4. Outros parâmetros para avaliação	53
3.5. Medição dos Desvios	54
3.6. Desgaste das ferramentas de perfuração	55
3.7. Bits de perfuração	57
3.8. Afição dos bits de perfuração	61
3.9. Nova tecnologia de perfuração: Powerbit T45	64
4. Avaliação das novas tecnologias de perfuração: impacto na qualidade	71
4.1. Generalidades	71
4.2. Enquadramento Geográfico da Pedreira de Serdedelo	71
4.3. Enquadramento regional (geomorfologia, geotectónica, hidrogeologia)	73
4.4. Caracterização do material rochoso	77
4.5. Zonamento Geotécnico da Pedreira de Serdedelo	78
4.6. Levantamento geológico-geotécnico e geomecânico das bancadas em estudo: generalidades	80
4.7. Resumo da caracterização das bancadas em análise	83
4.8. Caracterização Geomecânica das bancadas- Resistência à compressão uniaxial	93

4.9. Equipamentos de Perfuração utilizados no estudo	94
4.10. Análise dos desvios.....	96
4.11. Desvios ocorridos pela flexão	99
4.12. Resultados obtidos no emboquilhamento	101
4.13. Resultados	107
4.14. Consequência do desgaste dos bits ao longo dos metros perfurados	120
4.15. Maciço Rochoso.....	121
5. Conclusões.....	125
6. Referências Bibliográficas.....	131
7. Anexos	139

Índice de Figuras

Figura 1-Exemplo de aplicação da base de dados, ScanGeoData BGD (Ramos, 2008; Fonseca, 2008; Fonseca et al., 2010), desenvolvida para maciços rochosos fraturados.	7
Figura 2- Extrato da base de dados, SchmidtData UCS (Ramos, 2008; Fonseca, 2008; Fonseca et al., 2010), desenvolvida para maciços rochosos fraturados.	8
Figura 3- Exemplo de aplicação da base de dados GeoHole Data (Ensaio de medição do desvio de perfuração Boretrak), (segundo Ramos, 2008).	8
Figura 4- Ciclo das rochas numa perspetiva das geociências da engenharia (Galiza et al.,2011).	11
Figura 5- Tipo de materiais geológicos (s.l.), desde os solos até às rochas duras, em estudos geotécnicos e de geologia de engenharia (adaptado Johnston & novello, 1993) Boletim de Minas.	12
Figura 6- a) Rocha intacta entre as descontinuidades; b) maciço rochoso.	13
Figura 7- Características geológicas da matriz rochosa e do maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011 in Galiza, 2013)	13
Figura 8- Panorâmica Oeste-Este, Pedreira de Serdedelo.	14
Figura 9-Equipamento de campo básico para a utilização da técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (González de Vallejo & Ferrer, 2011). In: Galiza (2013).	15
Figura 10- Diagrama idealizado mostrando transição desde rocha intacta até o maciço fraturado com o incremento do tamanho de amostra: a) rocha intacta; b) uma descontinuidade c) duas descontinuidades; d) rocha fraturada; e) Maciço rochoso.	17
Figura 11- Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de Hudson & Harrison, 2000).	19
Figura 12-Evidenciação das principais famílias de descontinuidades.	25
Figura 13- Evidenciação de alteração no maciço rochoso, traduzida em mudanças na cor original da matriz rochosa.	27
Figura 14-Desmonte de maciço rochoso a céu aberto - Pedreira de Serdedelo - Ponte de Lima.	33
Figura 15-Pirâmide representativa das atividades de desmonte de rocha.	33
Figura 16- Fluxograma esquemático das atividades de extração e transformação de pedra natural, bem como as consequências que a execução da perfuração tem nas atividades subsequentes (Boletim de Minas,2011).	34
Figura 17- Custos associados as operações intervenientes no desmonte (Atlascopco 2008).	35
Figura 18-Framentação Secundária.	35
Figura 19- Benefícios de uma perfuração alinhada (adaptado de Galiza et al., 2011a, b, c).	36
Figura 20-Fatores intervenientes na qualidade da perfuração.	36
Figura 21- Exemplo de erros e desvios de perfuração (adaptado de Sandvick).Furo Planeado	38
Figura 22- Influência da foliação e ângulo α na amplitude do desvio (adaptado Atlas Copco surface drilling 2012).Caso α seja $>15^\circ$ o furo desvia perpendicularmente com a foliação.	41
Figura 23- Influência dos diferentes tipos de equipamentos de perfuração nos desvios (Atlascopco,2008).	42
Figura 24- Carro de perfuração Atlas Copco Roc D7.	43
Figura 25-Aspetos técnicos a ter em conta na seleção do método de perfuração.	44
Figura 26- Condicionantes na escolha dos métodos de perfuração (adaptado Lima,2014).	44
Figura 27- a) Ilustração método rotopercutivo, b) martelo de superfície (Tophammer) (adaptado Ramos,2008).	46
Figura 28-Parâmetros intervenientes na perfuração rotopercutiva.	46
Figura 29- Parâmetros do Diagrama de fogo.2 x Comprimento do pistão	47
Figura 30- Esquema de transmissão de energia através dos acessórios.	52
Figura 31-Equipamento Boretrak (varas, sensor, recetor sinal).	54
Figura 32- Fatores que influenciam o desgaste da ferramenta de corte (adaptado Plinninger,2002).	57
Figura 33-a) Bit de botão vs b) Bit de Pastilhas.	57
Figura 34-Parâmetros a ter em conta na aquisição do bit.	58
Figura 35- Características entre diferentes configurações dos bits de botões (adaptado de Manual de Desmonte de Maciços Rochosos I, ISEP 2007/2008).	61
Figura 36-Teoria da afiação de bits (adaptado de Manual de Desmonte de Maciços Rochosos I, ISEP 2007/2008).Esférico	61
Figura 37-Evidencia de fadiga ("Snake skin") na superfície dos botões (Adaptado Lima,2014).	62
Figura 38-Bit Powerface da gama powerbit T45 e suas características técnicas.	64

Figura 39-Campo de aplicação do Powerbit vs Bits já existentes (Atlascopco 2016).....	65
Figura 40- Campo de aplicação dos diferentes bits que compõe a gama Powerbit T45 (Atlascopco 2016).	65
Figura 41- Campo de aplicação da gama dos bits Powerbit (Atlascopco Secoroc 2016).ROCHA BRANDA	65
Figura 42- Eficiência no contacto dos botões Trubbnos comparado com os botões semi-balísticos (catalogo powerbit Atlas Copco Secoroc 2016).Maior superfície de contacto – botões Trubbnos (trapezoide)....	67
Figura 43-Máquinas de afiação dos bits (Atlascopco Secoroc 2016).	68
Figura 44-Pedreira de Serdedelo (adaptado Google Maps 2004).	71
Figura 45-Exploração em flanco de encosta (LNEC).	72
Figura 46- Exploração atual em flanco de encosta da pedreira de Serdedelo.	72
Figura 47- Enquadramento da geologia regional do sector a Norte de Viana do Castelo [fotomontagem, com carta de relevo sombreado, adaptada da Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000, folha 5-A (Viana do Castelo); Teixeira et al., 1972]. Os tons avermelhados representam os granitóides, as tonalidades cinza-esverdeados são rochas metassedimentares e tons cinza claro são os depósitos sedimentares.	73
Figura 48-Enquadramento geológico regional da pedreira de Serdedelo, Sudeste de Ponte de Lima (base cartográfica: adaptada/revista de Teixeira et al., 1972; Pereira et al., 1989).	74
Figura 49-Enquadramento geotectónico regional dos granitos Variscos da Zona Centro-Ibérica, bem como a visualização das principais faixas de cisalhamento e sistemas de falhas geológicas regionais do NW de Portugal (adaptado Galiza, 2013).	75
Figura 50- Enquadramento geográfico da Pedreira de Serdedelo (adaptado da Carta Militar de Portugal, escala 1/25000, folha 28 - Ponte de Lima.	76
Figura 51- Pedreira de Serdedelo – esboço de zonamento geotécnico geral (adaptado de Ramos, 2008 e Fonseca,2008).....	78
Figura 52- Pedreira de Serdedelo – Cartografia de Zonamento Geotécnico (versão Outubro de 2017), (Revisto e atualizado de Fonseca, 2008; Ramos, 2008; Galiza et al., 2011; Galiza, 2013).....	79
Figura 53- Flanco de encosta de exploração atual (NE) da pedreira de Serdedelo (tracejado laranja).	80
Figura 54-Georreferenciação das scanlines estudadas na Pedreira de Serdedelo (Labarga,2017).	81
Figura 55- Aplicação da técnica da amostragem linear (scanline) e escombros na bancada 1.	82
Figura 56-Fotografia da bancada 1 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=68).	83
Figura 57- Fotografia da bancada 2 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=33).	85
Figura 58- Fotografia da bancada 3 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=15).	87
Figura 59- Fotografia da bancada 4 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=27).	89
Figura 60- Fotografia da bancada 6 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=12).	91
Figura 61- Equipamento de perfuração Atlas Copco Roc D7.....	94
Figura 62-Bit retrac (à esquerda) e bit Powerface da gama Powerbit (à direita).....	94
Figura 63-Representação esquemática da pega de fogo 1(PF1) realizada em bancada. Error! Bookmark not defined.	
Figura 64- Representação esquemática da pega de fogo 2(PF2) realizada em bancada. Error! Bookmark not defined.	
Figura 65-Representação esquemática da pega de fogo 3(PF3) realizada em bancada. Error! Bookmark not defined.	
Figura 66-Furos ensaiados com o Boretrak da PF1 (furos com preenchimento azul).....	97
Figura 67- Furos ensaiados com o Boretrak da PF2 (furos com preenchimento azul).....	97
Figura 68- Furos ensaiados com o Boretrak da PF3 (furos com preenchimento azul).....	97

Figura 69-Exemplo de desvios lateral e frontal considerados por erro de emboquilhamento. Verificado no furo 8 (Powerbit), da PF2, na bancada nº 6, da pedreira de Serdedelo em Ponte de Lima, registado pelo Boretrak no dia 05/07/2017.	98
Figura 70- Exemplo de desvios lateral e frontal considerados por flexão, verificado no furo 8 (Powerbit), da PF2, na bancada nº 6, da pedreira de Serdedelo em Ponte de Lima, registado pelo Boretrak no dia 05/07/2017.	99
Figura 71- Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por flexão, verificado no furo 8 (Powerbit), da PF2, caso o erro de emboquilhamento seja eliminado.	100
Figura 72- Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por flexão, verificado no furo 44 (Powerbit), da PF2, na bancada nº 6, da pedreira de Serdedelo em Ponte de Lima, registado pelo Boretrak no dia 05/07/2017.	101
Figura 73-Projeção dos furos da PF1 em corte, com o bit powerbit(esquerda) e o bit retrac (direita), em que o furo projeto (8º) esta representado a vermelho.	102
Figura 74-Projeção dos furos da PF2 (esquerda) e PF3 (direita) em corte em que o furo projeto (8º) esta representado a vermelho.	102
Figura 75- Representação do erro de emboquilhamento (a azul) e do furo de projeto (a vermelho) nos dois planos de análise.	Error! Bookmark not defined.
Figura 76- Desvio lateral (X) e frontal(Y) do furo 19, da PF2, com a simulação de novo furo teórico com o mesmo ângulo que o emboquilhamento do furo analisado.	106
Figura 77- Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Powerbit, da PF1.	108
Figura 78- Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Retraco, da PF1.	108
Figura 79-Desvios de perfuração no plano de análise lateral(X), do powerbit (esquerda) e Retraco (direita).	109
Figura 80 -Desvios de perfuração no plano de análise Frontal (Y), do powerbit (esquerda) e Retraco (direita).	110
Figura 81-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Retraco da PF1.	111
Figura 82-Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) em profundidade, do Powerbit e Retraco da PF1.	111
Figura 83- Comparação da média dos valores de desvios frontal (Y) por patamar, do Powerbit e Retraco da PF1.	111
Figura 84- Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Powerbit nas três pegadas de fogo.	112
Figura 85-Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Retraco drop center, na data de 10/09/2008.	112
Figura 86-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Retraco drop center (2008).	113
Figura 87-Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) em profundidade, do Powerbit e Retraco drop center (2008).	114
Figura 88-Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Retraco flat face, na data de 12/07/2008.	115
Figura 89-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Retraco flat face (2008).	116
Figura 90- Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) em profundidade, do Powerbit e Retraco flat face (2008).	116
Figura 91-Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Standart flat face, na data de 01/08/2008.	117
Figura 92-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Standart flat face (2008).	118
Figura 93-Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) por patamar, do Powerbit e Standart flat face (2008).	119

Índice de Quadros

Quadro 1- Sistemática para a descrição de maciço rochosos (adaptado ISRM, 1987, 1981).	15
Quadro 2- Principais propriedades, métodos e técnicas nos levantamentos de campo na caracterização e descrição de maciços rochosos [Terzaghi (1965), Priest (1981, 1985, 1993), West (1991), Lisle & Leyshon (2004), Ferrer & González de Vallejo (2007), ISRM (2007, 2015), Ragan (2009), Norbury (2010)].	16
Quadro 3- Tipos de descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	18
Quadro 4- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos de caracterização das descontinuidades.	19
Quadro 5- Atitude geológica e Grau de fracturação - parâmetros geológico-geotécnicos das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011; Priest, 1993; Dinis da Gama, 1995; Chaminé et al., 2001, 2013, 2015, 2016; Chaminé, 2016).	20
Quadro 6- Continuidade ou persistência e Abertura- parâmetros geológico-geotécnicos das descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	21
Quadro 7- Preenchimento e rugosidade- parâmetros geológico-geotécnicos das descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	22
Quadro 8- Terminação, curvatura e percolação de água - parâmetros geológico-geotécnicos das paredes do material-rocha que limitam as descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	23
Quadro 9- Resistência à compressão uniaxial - parâmetros geológico-geotécnicos das paredes do material-rocha que limitam as descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	24
Quadro 10- Número e orientação das famílias de descontinuidades para a caracterização global do maciço (adaptado ISRM e Gonzalez de Vallejo et al., 2002).	25
Quadro 11- Tamanho dos blocos e intensidade de fracturação para a caracterização global do maciço (ISRM 1978, 1981).	26
Quadro 12- Grau de alteração para a caracterização global do maciço (adaptado ISRM, 1978, 1981). ...	27
Quadro 13- Índice de qualidade QRD para a caracterização global do maciço (adaptado Palmstrom, 1995; Deere & Deere, 1988).	28
Quadro 14- Caracterização da Técnica de Amostragem Linear, “Scanline Sampling Technique” (adaptado de: Brady & Brown, 2004; Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al. 2013, 2014; Chaminé, 2016; Chaminé et al., 2016).	29
Quadro 15- Caracterização do ensaio de avaliação da resistência mecânica com a utilização do Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (Adaptado de Schmidt, 1951; Katz O., et al., 2000; Kahraman S., et al., 2002; Aydin & basu, 2005; Aydin 2008 ISRM, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	30
Quadro 16- Consequências dos desvios na geometria da pega e consequente desmonte.	37
Quadro 17-Desvio associado a erros vs desvio associado a anisotropia do maciço.	38
Quadro 18- Cinco tipos de erros de perfuração, apontando as suas possíveis causas e propondo medidas de correção ou de minimização (adaptado Ramos,2008).	39
Quadro 19-Tipo de desvios, descrição e suas causas devido a erros de direção e inclinação (Galiza et al.,2009).	40
Quadro 20-Tipo de desvios, descrição e suas causas devido a anisotropia do maciço (Galiza et al.,2009).	40
Quadro 21-Parâmetros a analisar no estudo da qualidade da perfuração.	41
Quadro 22-Ferramentas de execução necessárias à perfuração.	42
Quadro 23-Matriz de avaliação equipamento de perfuração (adaptado Ramos,2008).	43
Quadro 24- Princípios dos métodos de perfuração (adaptado Atlascopco 2012).	45
Quadro 25- Percussão- parâmetro interveniente na perfuração rotoperkutiva (Atlascopco,2008).	47
Quadro 26- Rotação- parâmetro interveniente na perfuração rotoperkutiva (Atlascopco,2008).	48
Quadro 27- Avanço- parâmetro interveniente na perfuração rotoperkutiva (Atlascopco,2006).	49
Quadro 28-Limpeza- parâmetro interveniente na perfuração rotoperkutiva (Atlascopco,2007-2008). ...	50

Quadro 29- Acessórios de perfuração.....	50
Quadro 30- Matriz de avaliação do operador e parâmetros de regulação, (adaptado Ramos,2008).	53
Quadro 31-Aspetos práticos a ter em conta nas bancadas (adaptado Ramos,2008).	54
Quadro 32-Interações entre o desgaste da ferramenta de corte e penetração.....	56
Quadro 33- Quadro síntese das características do bit de perfuração (adaptado Galiza, 2013).	59
Quadro 34-Tipos de bits de botões (adaptado manual de desmonte Galiza et al.).....	60
Quadro 35-Metodologia de afiação de bits (adaptado Atlascopco 2007/2008).....	63
Quadro 36- Características técnicas inovadoras do Powerbit T45 (Atlascopco 2016).....	64
Quadro 37- Caraterização micropetrográfica da material rocha de Serdedelo (adaptado NORCONTROLE, 2004).	77
Quadro 38- Composição química da material rocha de Serdedelo (adaptado de CICCOPN, 2006).	77
Quadro 39- Descrição das zonas geotécnicas (adaptado Ramos,2008 e Fonseca,2008).....	78
Quadro 40- Identificação das bancadas analisadas e correspondente extensão da scanline.	82
Quadro 41- Bancada 1- Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.	83
Quadro 42- Bancada 1-Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=68).....	84
Quadro 43- Bancada 2- Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.	85
Quadro 44- Bancada 2- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=68).....	86
Quadro 45- Bancada 3- Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.	87
Quadro 46-Bancada 3- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=15).....	88
Quadro 47- Bancada 4 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.	89
Quadro 48-Bancada 4- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=27).....	90
Quadro 49- Bancada 6 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.	91
Quadro 50- Bancada 6- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=12).....	92
Quadro 51-Classe de Resistência à compressão uniaxial das bancadas estudadas (ISRM ,1981).	93
Quadro 52-Número de furos e metros furados em cada pega e correspondente bit utilizado.....	95
Quadro 53- Roll(x) e Pitch(y) das três pegas de fogo estudadas.....	103
Quadro 54- Desvios dos furos com powerbit da PF1 em que os ângulos relativos as direções, no plano lateral, se encontram dentro do intervalo estabelecido.....	104
Quadro 55- Desvios laterais dos furos com Retracc da PF1 em que os ângulos relativos as direções, se encontram dentro do intervalo estabelecido.	104
Quadro 56- Desvios frontais dos furos da PF1 com o powerbit em que os ângulos relativos as inclinações, se encontram dentro do intervalo estabelecido.	105
Quadro 57- Desvios frontais dos furos da PF1 com o retracc em que os ângulos relativos as inclinações, se encontram dentro do intervalo estabelecido.	105
Quadro 58- Roll(x) e Pitch(y) da perfuração executada em 2008.	107
Quadro 59-Média dos valores de desvios(m) em profundidade nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Retracc da PF1.....	110
Quadro 60-Comparação do desvio total do Powerbit e Retracc.	111
Quadro 61- Comparação do desvio lateral e frontal em metro/metro de perfuração, do Powerbit e Retracc flat face.	112
Quadro 62- Média dos valores de desvios(m) em profundidade, nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Retracc drop center de 2008.....	113
Quadro 63- Comparação do desvio total do Powerbit e Retracc Drop center.	114
Quadro 64- Comparação do desvio lateral (X) e frontal (Y) em metro/metro de perfuração, do Powerbit e Retracc Drop center (2008).....	114
Quadro 65- Média dos valores de desvios(m) em profundidade, nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Retracc flat face de 2008.....	115
Quadro 66- Comparação do desvio total do Powerbit e Retracc Flat face.....	116
Quadro 67- Comparação do desvio lateral e frontal em metro/metro de perfuração, do Powerbit e flat face center (2008).	117
Quadro 68-Média dos valores de desvios(m) em profundidade, nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Standart flat face de 2008.	118

Quadro 69- Comparação do desvio total do Powerbit e Retraco Flat face.....	119
Quadro 70- Comparação do desvio lateral(X) e frontal(Y) em metro/metro de perfuração, do Powerbit e Standart flat face (2008).....	119
Quadro 71- Desvio em função dos metros furados.	120
Quadro 72- Desvios médios (X e Y) à mesma profundidade (10 metros) nas três pegadas de fogo e respetiva caracterização geomecânica.....	121



1.Introdução Geral

(Página propositadamente em branco)

1. Introdução geral

1.1. Enquadramento do Tema

O presente documento insere-se na unidade curricular Projeto, do 2º ano, do curso de mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto. A elaboração e defesa pública deste documento, em formato dissertação, são imperativos para a conclusão do 2.º ciclo de estudos e consequente obtenção do grau de mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. O formato desta tese de mestrado é de “projeto”, resultado de um protocolo técnico-científico entre o DEG|ISEP e as empresas Elevation Engenharia SA e AtlasCopco.

O desmonte não é mais do que a operação de destaque, do maciço rochoso, de uma parte mais ou menos representativa da rocha que o constitui (Galiza et al., 2008). O desmonte de rocha com recurso a explosivos envolve uma série de operações, sendo a perfuração a primeira do ciclo, assumindo por isso um papel de extrema importância. A qualidade da sua execução irá determinar o sucesso do desmonte que no seu âmbito envolve três grupos de parâmetros (e.g., Preston et al., 1993; Jimeno, 1995; Dinis da Gama, 1995; Holmberg, 2003; Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007): i) geológico-estruturais, geotécnicos e geomecânicos do maciço rochoso; ii) ferramentas de execução; iii) geometria do diagrama de fogo.

As propriedades petrofísicas, geológico-estruturais e geomecânicas do maciço rochoso são de extrema importância na compreensão do desmonte com explosivos, uma vez que o uso de diagramas de fogo de características invariáveis, sem considerar as mudanças destas propriedades, poderá conduzir a fragmentação deficiente, excessos de finos, danos nas paredes das bancadas adjacentes, impactos ambientais e custos operacionais maiores. Assim, os parâmetros do dimensionamento do diagrama de fogo serão determinados pela interação das características do maciço, da perfuração, do explosivo utilizado e do sistema de iniciação. O maciço é o único fator que não pode ser dimensionado, mas, em virtude da sua importância no processo, deverá ser classificado, parametrizado e controlado. É vital a compreensão da forma como estes parâmetros interagem entre si e de que forma poderão contribuir para os desvios de perfuração, i.e., compreender como o tipo e a amplitude de desvio poderão causar a conjugação de determinadas características dos grupos referidos (Galiza et al., 2008; Fonseca et al., 2010).

Sendo esta uma atividade de engenharia, é primordial estabelecer princípios geradores de valor ao ato de engenharia, tal como aumentar e priorizar a segurança, aumentar a qualidade, otimizar processos, eliminar custos desnecessários, utilizar recursos de forma lógica e eficiente, melhorar cronogramas de trabalhos (minimizando assim as manutenções e interrupções), fomentar e acompanhar a inovação tecnológica.

O presente trabalho tem como objetivo introduzir, numa perspetiva interdisciplinar, à temática da avaliação das novas tecnologias de perfuração de maciços rochosos a céu aberto, nomeadamente o impacto que estas ferramentas apresentam na qualidade da sua execução, ou seja os desvios. Primeiramente é realizada a caracterização geológico-geotécnica da compartimentação e resistência do maciço rochoso em estudo e numa fase posterior e já relativa à perfuração, são analisadas e comparadas duas ferramentas de execução que é a nova tecnologia designadamente o bit *Powerface* da Powerbit e o bit *Retrac* flat face da Duromin, do ponto de vista da qualidade. Também são analisados e comparados com esta nova ferramenta os desvios obtidos com as ferramentas utilizadas em 2008 (Ramos, 2008 e Fonseca, 2008), nomeadamente o Retrac drop center, flat face e o Standart flat face.

Este trabalho foi desenvolvido em duas fases complementares. Uma primeira fase, referente ao trabalho de campo, com uma recolha, processamento, análise e interpretação de dados para uma caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do maciço. A segunda fase em que, através da realização de ensaios Boretrak (medição de desvios de perfuração) e o registo de parâmetros ligados ao diagrama de fogo, ao equipamento e aos acessórios de perfuração, e a outras condicionantes relevantes para o estudo dos desvios de perfuração, pretende analisar a qualidade do desmonte. Em ambas as fases todos os parâmetros recolhidos foram aplicados em bases de dados dinâmicas criadas e desenvolvidas por Ramos (2008) e Fonseca (2008), com a exceção dos dados boretrak recolhidos neste estudo, cujo tratamento e análise foi efetuado numa folha de cálculo Excel.

1.2. Objetivos

Dentre os principais objetivos deste trabalho, podemos destacar:

- Reconhecimento e inspeção visual do maciço em estudo. Contacto com a geologia, a geomorfologia e a cartografia da pedreira de Serdedelo (Ribeira, Ponte de Lima) e área envolvente. Seleção do sector da pedreira a estudar e georreferenciação

topográfica, recorrendo a um GPS de alta-precisão (“Trimble Geoexplorer”), das varias bancadas estudadas;

- Zonamento geotécnico de pormenor do sector do maciço rochoso pré-selecionado. Caracterização dos parâmetros geológicos e geotécnicos dos desmontes monitorizados durante o estudo, aplicando a técnica da amostragem linear nas superfícies expostas para a avaliação do grau de compartimentação e caracterização geotécnica-geomecânica através da *Basic Geotechnical Description of Rock Masses* (BGD). Para o efeito, foi utilizada a aplicação informática desenvolvida em 2008, a **ScanGeoData|BGD** (Ramos, 2008; Fonseca, 2008; Fonseca et al., 2010), que permite a compilação, o tratamento e a análise dos inúmeros dados geológicos e geotécnicos das superfícies expostas no terreno. Realização de ensaios geomecânicos “in situ”, nomeadamente o ensaio esclerométrico através do “Martelo de Schmidt” (tipo L), para estimar a resistência do material rochoso nas zonas desmontadas do maciço em estudo. Assim, foi utilizada a aplicação informática **SchmidtData|UCS** (Ramos, 2008; Fonseca, 2008), que permite a compilação, o tratamento e a análise dos ensaios geomecânicos de resistência à compressão uniaxial (“Uniaxial Compressive Strength”) recolhidos no terreno;
- Com base na consulta da base de dados desenvolvida em 2008, a **GeoHole|Data** (Ramos, 2008) para realizar a caracterização da distribuição ponderada dos tipos de desvios tipicamente frequentes do maciço rochoso de Serdedelo. Esta aplicação apresenta a capacidade para um conjunto de análises por filtragem dos parâmetros que o utilizador bem entender, permitindo leituras de desvios para diferentes condições, ferramentas, geometrias e maciços;
- Avaliação das novas tecnologias de perfuração: impacto na qualidade - análise dos desvios ocorridos na perfuração, comparando a tecnologia já utilizada com a nova tecnologia, o Powerbit; Estudo de todos os parâmetros intervenientes no processo de perfuração responsáveis pelos desvios;

1.3. Metodologia e estrutura

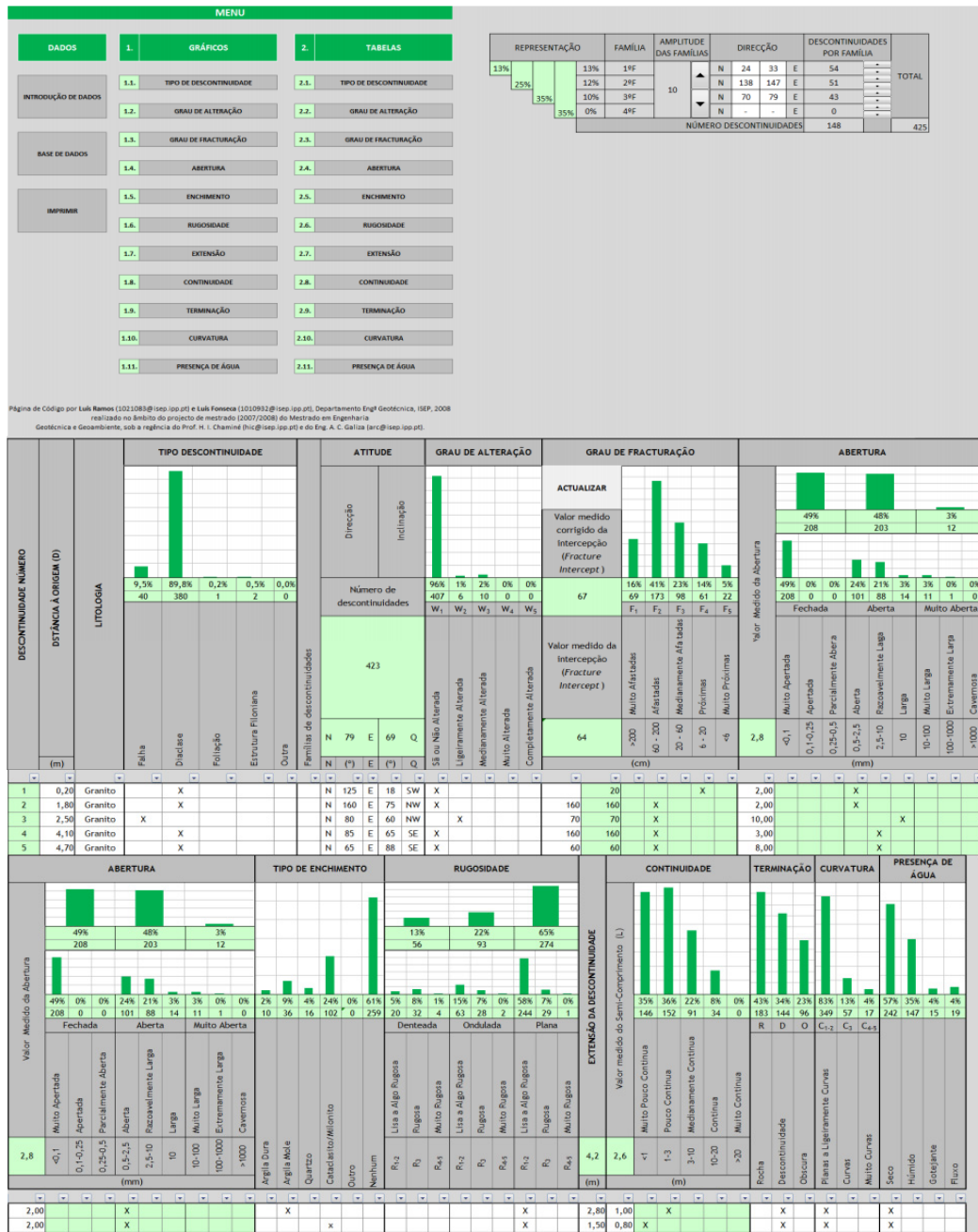
O estudo dos maciços rochosos nas explorações de materiais pétreos é uma tarefa complexa e interdisciplinar que requer trabalho de campo minucioso e uma análise cuidada dos dados obtidos sobre as suas propriedades geológicas, geotécnicas e geomecânicas (e.g., Terzaghi, 1965; Mazzoccola et al., 1997; Galiza et al., 2011a, González de Vallejo & Ferrer, 2011; Chaminé et al., 2013).

Numa primeira fase do trabalho efetuou-se um reconhecimento de campo para se definir os constrangimentos topo-cartográficos, geológico-estruturais e petrofísicos do maciço em estudo e área envolvente (especialmente, a caracterização das unidades geológicas regionais e/ou locais, a descrição e caracterização das litologias, a cartografia das macro e meso-estruturas, os traços geológico-estruturais do maciço, a identificação das zonas alteradas e cartografia das suas espessuras, a localização das exurgências/infiltrações de água, etc.). Apresentam-se ainda os, resultados do estudo de rede de fracturação regional, com base na análise morfoestrutural de mapas topográficos e dos reconhecimentos geológicos locais.

Na fase seguinte procedeu-se à recolha, tratamento, análise e interpretação dos dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos do maciço. Esta abordagem integrada permitiu a descrição e o zonamento geotécnico-geomecânico do maciço rochoso em estudo, tendo-se seguido, tal como referido anteriormente, as recomendações da ISRM – International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1981, 2007, 2015), da GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (GSE, 1995) e do CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCFF, 1996). Para a definição do grau de compartimentação do maciço rochoso foi aplicada a técnica de amostragem linear (referida no capítulo seguinte) em superfícies expostas do maciço rochoso (e.g., Priest & Hudson, 1981; Priest, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Dinis da Gama, 1995; Peacock et al., 2003; Martins et al., 2006; Fonseca et al., 2010; Chaminé et al., 2013, 2014). Para a caracterização geomecânica do maciço, recorreu-se, aos ensaios de resistência mecânica “in situ” com a utilização do Esclerómetro portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (referida no capítulo seguinte).

Nos levantamentos dos elementos geológico-geotécnicos de campo recorreu-se ao posicionamento georreferenciado dos dados com o apoio de um GPS de alta precisão (Trimble Geoexplorer) do LABCARGA|ISEP.

A utilização de bases de dados dinâmicas – ScanGeoData|BGD e SchmidtData|UCS (Fonseca 2008; Fonseca et al., 2010; Galiza et al., 2011a, b; Pinheiro et al., 2014; Chaminé et al., 2016) – relativas aos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos permitiu efetuar um cruzamento exaustivo de toda a informação e a interpretação de todos os dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos de modo a apoiar o estabelecimento da cartografia de zonamento geotécnico do maciço rochoso (Figura 1, 2 e 3).

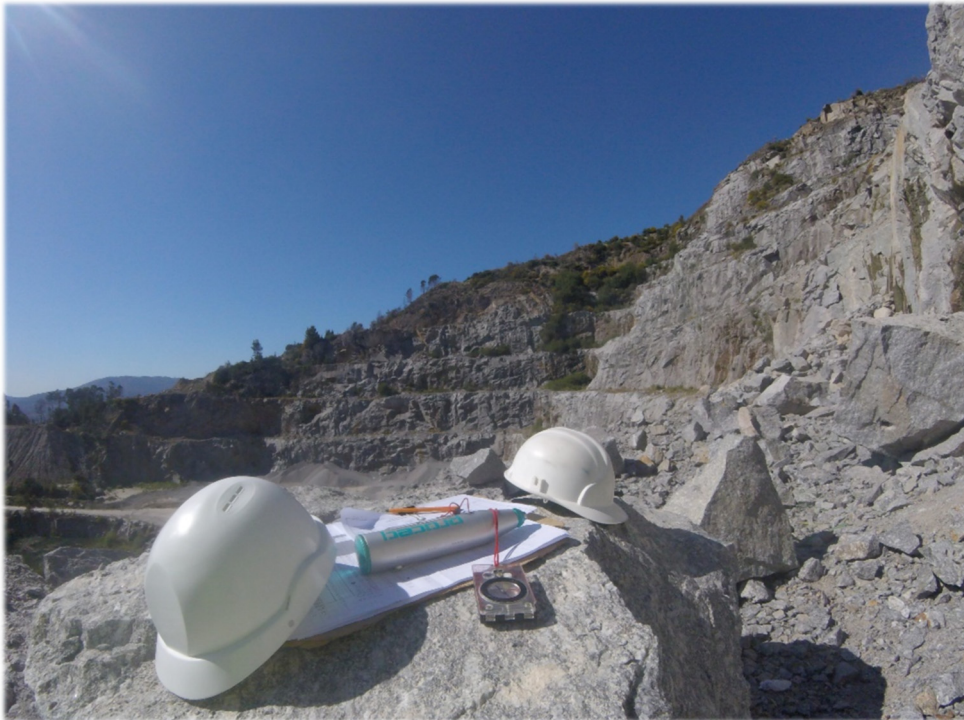


ESTACÃO GEOMECÂNICA NÚMERO	DISTÂNCIA À ORIGEM (Cenôite)	LITOLOGIA	ATTITUDE		GRAU DE ALTERAÇÃO (ISRM, 1978, 1981; GSI, 1999)				ORIENTAÇÃO DO MARTELO SCHMIDT (TIPO I)	VALOR DO ENSAIO DE PERCUSSÃO (RESSALTO, REBOUND, R)										RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAIXIAL, UCS	MÉDIA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAIXIAL, UCS					OBSERVAÇÕES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			Direção	Inclinação	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		S _r	S _i	S _e	S _b	S _a																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
(m)	N	(°)	E	(°)	Q	(“Dureza de Schmidt”, R)										(MPa)	(MPa)	(MPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
1	0,70	Granito	N	45	E	80	SE	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Figura 2- Extrato da base de dados, **SchmidtData|UCS** (Ramos, 2008; Fonseca, 2008; Fonseca et al., 2010), desenvolvida para maciços rochosos fraturados.

DATA	PEDREIRA	BANCA DA	PEGA	HOLE	ROD	RESULTADOS BORETRAK									
						TDEPTH	OFFSET	ROD DEPTH	X	Y	PITCH (Y)	ROLL (X)	DIP	AZIMUTH	ANULAR
						9,767	-0,054	10,016	0,624	1,931	1,876	-0,562	10,847	43,688	32
12-07-08	SRD	1	1	1	1	1,958	-0,059	2,000	-0,039	0,406	-11,720	1,130	11,533	354,600	V
12-07-08	SRD	1	1	1	2	3,920	-0,099	4,000	-0,046	0,793	-11,160	0,210	10,956	358,900	
12-07-08	SRD	1	1	1	3	5,861	-0,230	6,000	-0,120	1,271	-13,830	2,190	13,599	351,200	
12-07-08	SRD	1	1	1	4	7,779	-0,445	8,000	-0,156	1,834	-16,350	1,060	15,752	356,400	
12-07-08	SRD	1	1	1	5	9,681	-0,713	10,000	-0,233	2,450	-17,920	2,320	17,228	352,900	
12-07-08	SRD	1	1	1	6	11,570	-1,021	12,000	-0,281	3,105	-19,110	1,480	18,175	355,700	
12-07-08	SRD	1	1	1	7	13,423	-1,426	14,000	-0,286	3,857	-22,090	0,150	20,610	359,600	
12-07-08	SRD	1	1	1	8	15,253	-1,885	16,000	-0,239	4,663	-23,790	-1,470	22,002	3,300	
12-07-08	SRD	1	1	1	9	16,330	-2,203	17,200	-0,187	5,190	-26,000	-2,770	14,805	5,700	
12-07-08	SRD	1	1	1	10	16,330	-2,203	17,200	-0,187	5,190	-26,000	-2,770	14,805	5,700	

Figura 3- Exemplo de aplicação da base de dados **GeoHole|Data** (Ensaio de medição do desvio de perfuração Boretrak), (segundo Ramos, 2008).



2.Caracterização/ Compartimentação de Maciços Rochosos: Geologia, Geotecnia e Geomecânica

(Página propositadamente em branco)

opõe-se à ideia de rocha a qual pode ser considerada como um agregado de minerais associados por forças coesivas permanentes constituindo a matriz rochosa.

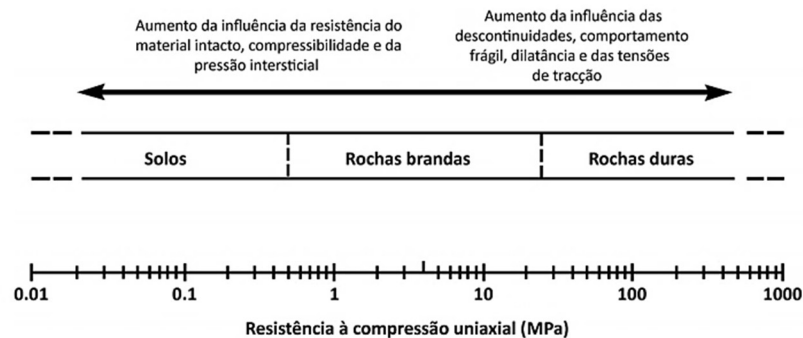


Figura 5- Tipo de materiais geológicos (s.l.), desde os solos até às rochas duras, em estudos geotécnicos e de geologia de engenharia (adaptado Johnston & novello, 1993) In: Galiza et al. (2011).

O estudo destes dois materiais, denominados por solos e rochas é baseado em duas ferramentas cientificamente distintas, designadas por Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas que se são distintas sobretudo nos diferentes métodos de investigação, de classificação, de metodologias de ensaio, de interpretação, de modelação e de projeto.

A Geomecânica tem ampla aplicação no projeto, conceção e execução de trabalhos em que é necessário ter em consideração o comportamento de um maciço rochoso, sejam eles fundações, tuneis, taludes, etc. A mecânica das rochas esta interligada com disciplinas como a geologia estrutural, a geologia aplicada, a mecânica dos solos, a mecânica dos sólidos e os métodos computacionais, sendo que a interpenetração das fronteiras de disciplinas vizinhas particularmente acentuada no caso da mecânica das rochas e dos solos. Por isso, há autores que consideram que a Geomecânica é uma área científica que reúne a Mecânica das Rochas e a Mecânica dos Solos (Bock, 2006).

O estudo dos maciços rochosos interessados num problema de engenharia, são constituídos por um ou mais tipos litológicos, localizados num determinado contexto espacial e apresentam características geomecânicas que dependem, em primeiro lugar, da geologia das próprias rochas que os formam, mas também de várias propriedades geológicas e petrofísicas e parâmetros geotécnicos que são intrínsecos de cada maciço e da sua história geotectónica (Hoek, 1996; Hudson & Cosgrove, 1997 in Galiza, 2013). Uma correta caracterização geotécnica apoiada num levantamento geológico adequado é determinante para o sucesso de um dado projeto de engenharia (Rocha, 1981).

2.2. Descrição de maciços rochosos: Maciço rochoso vs Matriz rochosa

Um maciço rochoso pode ser considerado como um meio sólido contínuo (material rocha) separado por planos de fraqueza, ou seja, as superfícies de descontinuidade. Este difere de outros materiais aplicados à engenharia uma vez que este é intersectado por descontinuidades de vários tipos, as quais lhe conferem uma estrutura descontínua. Assim, deve ser feita uma clara distinção entre material-rocha e maciço rochoso (figura 6). Material-rocha pode ser descrito como a rocha intacta entre descontinuidades, conhecido por matriz rochosa enquanto o maciço rochoso é um meio rochoso que pode conter planos de estratificação, falhas, diáclases, dobras e outros elementos estruturais.



Figura 6- a) Rocha intacta entre as descontinuidades; b) maciço rochoso.

Através de uma cuidada e objetiva inspeção visual, a matriz rochosa permite-nos obter alguma informação acerca da sua génese e respetiva mineralogia, possibilitando ainda determinar outras propriedades petrofísicas (figura 7), tais como a dureza, a densidade, a forma e o tamanho dos blocos, etc. Habitualmente, os aspetos a destacar no terreno são (Gonzalez de Vallejo et al., 2002) a caracterização e identificação meso e macroscópica (por vezes, até microscópica) dos constituintes da matriz, a textura e estrutura, o grau de alteração / alterabilidade, o grau de compartimentação e fracturação e a resistência do material.

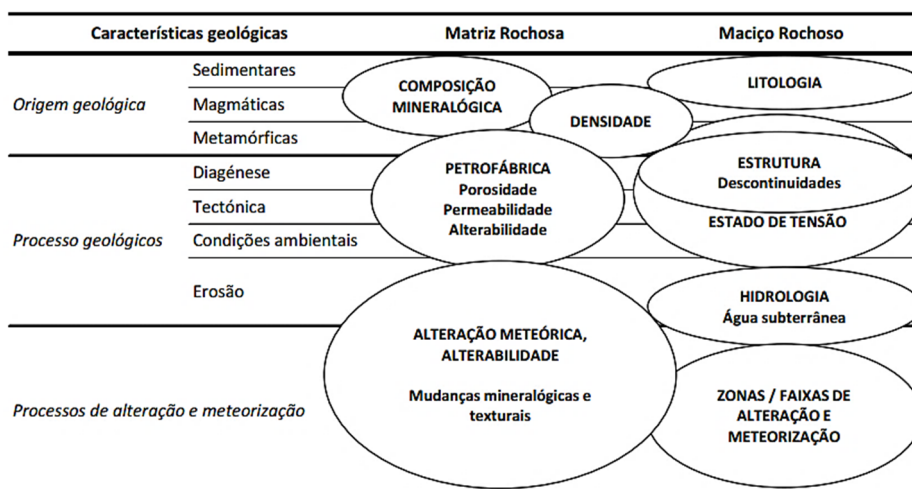


Figura 7- Características geológicas da matriz rochosa e do maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011 in Galiza, 2013)

O estudo geral do maciço deverá incluir a identificação, a descrição das condições gerais do afloramento e a caracterização dos vários aspetos geológico-geotécnicos, i.e., o tipo de litologias e do material-rocha, o estado de alteração, o estudo das discontinuidades e as condições hidrogeológicas. A divisão em zonas geotécnicas mais ou menos homogéneas realiza-se a partir de critérios essencialmente litológicos, geológico-estruturais e geotécnicos básicos. A descrição de cada zona deve ser o mais objetiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada (e.g., ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCFF, 1996).

A descrição e caracterização de maciços rochosos com fins geotécnicos tem como objetivo identificar e determinar as condições e propriedades, observáveis em trabalho de campo, que posteriormente permitam com estudos adicionais prever o comportamento do material-rocha perante um fim construtivo ou extrativo (figura 8) que implique uma modificação ao estado natural dos maciços rochosos.



Figura 8- Panorâmica Oeste-Este, Pedreira de Serdedelo.

2.3. Metodologia e sistemática

Num estudo geomecânico é fundamental que se faça uma análise descritiva e de caracterização dos maciços rochosos “in situ”, com o objetivo de conhecer e interpretar as propriedades e características dos materiais rochosos.

Esta caracterização de campo é um exercício progressivo que se inicia com uma descrição geral das condições do terreno e com a identificação e classificação dos materiais que formam os maciços, definindo-se zonas mais ou menos homogéneas com base na litologia, estrutura tectónica, etc. Posteriormente, descreve-se e caracteriza-se com detalhe os componentes das diferentes zonas do maciço, onde se inclui o estudo da matriz rochosa e discontinuidades presentes de forma individualizada e objetiva (e.g., ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCFF, 1996). Por fim, classifica-se o maciço no seu conjunto, analisando tanto as suas propriedades intrínsecas como os fatores externos que condicionam o seu comportamento.

Para que a metodologia de recolha e tratamento da informação seja uniformizada, a ISRM (1981), propôs uma descrição geotécnica básica (Basic Geotechnical Description, BGD) que tem como objetivo fundamental caracterizar e descrever os aspetos geológico-geotécnicos que permitam compreender o comportamento mecânico dos maciços rochosos, tendo em conta o seguinte (ISRM, 1981): Classificação da rocha e o seu grau de alteração, características estruturais do maciço rochoso e características mecânicas. Na figura 9, esta ilustrado equipamento de campo básico para estudos de compartimentação de maciços rochosos, recorrendo a técnica de amostragem linear (scanline) aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos bem como a medição dos desvios de perfuração.



Figura 9-Equipamento de campo básico para a utilização da técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (González de Vallejo & Ferrer, 2011). In: Galiza (2013).

No quadro 1 e 2, estão apresentadas as etapas da sistemática para a descrição dos afloramentos de maciços rochosos e respetivas propriedades, métodos e técnicas para sua caracterização.

Quadro 1- Sistemática para a descrição de maciço rochosos (adaptado ISRM, 1978, 1981).

Etapas da Sistemática para a descrição de afloramentos de maciços rochosos	
Descrição das características gerais dos afloramentos	Geologia estrutural, tipo de descontinuidades, composição mineralógica e textural da material rocha, grau de alteração
Divisão em zonas geotécnicas e descrição geral de cada zona	A divisão em zonas mais ou menos homogéneas realiza-se a partir de critérios fundamentalmente litológicos e geológico-estruturais. O número de zonas que se estabelece e a extensão da mesma dependerá do grau de heterogeneidade dos materiais e estruturas que formam o maciço rochoso
Descrição pormenorizada de cada zona geotécnica	A descrição de cada zona é realizada separada e detalhadamente, de uma forma objetiva e clara, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada (e.g., ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCFF, 1996)
Descrição dos parâmetros geológicos e geométricos do maciço rochoso	A descrição dos parâmetros do maciço rochoso realiza-se a partir de dados recolhidos em cada estação geológico-geotécnica. Além disso, estabelecem-se parâmetros referentes ao número de famílias de descontinuidades, orientação e características representativas a cada uma delas, determinando a sua importância relativa, tamanho e forma dos blocos, grau de alteração, etc.
Caracterização global e classificação geomecânica do maciço rochoso	Tem como objetivo definir a qualidade e resistência do maciço, através da quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos e modelação físico-matemática

Quadro 2- Principais propriedades, métodos e técnicas nos levantamentos de campo na caracterização e descrição de maciços rochosos [Terzaghi (1965), Priest (1981, 1985, 1993), West (1991), Lisle & Leyshon (2004), Ferrer & González de Vallejo (2007), ISRM (2007, 2015), Ragan (2009), Norbury (2010)].

Propriedades		Métodos e Técnicas	Classificações / Índices	
MATRIZ ROCHOSA	Material-rocha	Litologia, Estrutura e Textura	Observações macroscópicas, apoiadas com lupa; complementarmente com microscópico petrográfico e análises mineralógicas e/ou geoquímica	Geológica (mineralogia e petrografia)
		Alteração	Observações macroscópicas, apoiadas com lupa; complementarmente com microscópico petrográfico e análises mineralógicas e/ou geoquímicas	Geológica (mineralogia e petrografia); Geotécnica (índice de alteração W - ISRM, 1978, 1998; GSE, 1995)
		Resistência "Strength"	Ensaio de resistência expedita (Martelo de Geólogo); Ensaio de Resistência com Martelo de Schmidt (USC - índice de dureza R); Ensaio de Carga Pontual (PLT - IS50) equipamentos de campo e de laboratório	Geológica (índices expeditos de resistência de campo ISRM, 2007); Geotécnica (índices de Resistência S - ISRM, 1981, 1985); Dureza de Schmidt R; Carga Pontual (IS50)
DESCONTINUIDADES	Rocha intacta	Atitude Geológica	Técnicas de Cartografia Geológica e de Geologia Estrutural: Bússola de Geólogo	Análise geológico-estrutural ; definição de famílias
		Espaçamento	Técnicas de Cartografia Geológica e de Geologia Estrutural: Bússola de Geólogo	Geotécnica (ISRM, 1978, 1981, 2007); índices F (espaçamento), L (comprimento)
		Continuidade		
		Rugosidade	Observação e técnicas expeditas de campo; Avaliação com micro-rugosímetros	Geotécnica (ISRM, 1981, 2007): Análise e comparação com tabelas de perfis padronizados
		Resistência	Ensaio de resistência expedita (Martelo de Geólogo); Ensaio de Resistência com Martelo de Schmidt (USC - índice de dureza R); Ensaio de Carga Pontual (PLT - IS50) - equipamentos de campo e de laboratório	Geológica (índices expeditos de resistência de campo - ISRM, 2007); Geotécnica (índices de Resistência S - ISRM, 1981, 1985); Dureza de Schmidt R; Carga pontual (IS50)
		Abertura	Técnicas geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas de campo	Geológica (mineralogia, petrografia, geoquímica) e índices hidrogeotécnicos propostos por Bieniawski, 1989; Gates, 1997, 2003)
		Preenchimento		
		Percolação		
MACIÇO ROCHOSO	Compartimentação do maciço	Famílias de descontinuidades	Técnicas de Geologia Estrutural e de Geologia de Engenharia	Geológica (análise geológico-estrutural, definição de famílias); Geotécnica (análise e definição de índices volumétricos)
		Tamanho do bloco		
		Grau da fracturação		
		Alteração	Observações macroscópicas, apoiadas com lupa; complementarmente com microscópico petrográfico e análises mineralógicas e/ou geoquímicas	Geológica (mineralogia e petrografia); Geotécnica (índice de alteração W - ISRM, 1978, 198; GSE, 1995)

2.4. Descontinuidades

As superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos (figura 10) são entidades geológicas (alinhamentos) que definem uma interrupção na continuidade física da matéria que constitui o maciço definindo, portanto, zonas de fraqueza (fracturação associada) que separam blocos de “rocha intacta” (Hoek, 2007).

Considerando as descontinuidades como interrupções da linearidade do maciço com amplitude variável configurando desde as pequenas fissuras até às grandes falhas, a existência de descontinuidades num determinado maciço rochoso, condiciona as propriedades geotécnicas no todo dessa massa, pela modificação global dos parâmetros de permeabilidade, deformabilidade e de resistência ao corte, face às características do material rocha que compõem essa massa rochosa, em parte pela exposição que são propícias para consequentes alterações e meteorização dessas fraturas e da sua natural apetência para captação dos fluxos hidrogeológicos (Pinto, 2013).

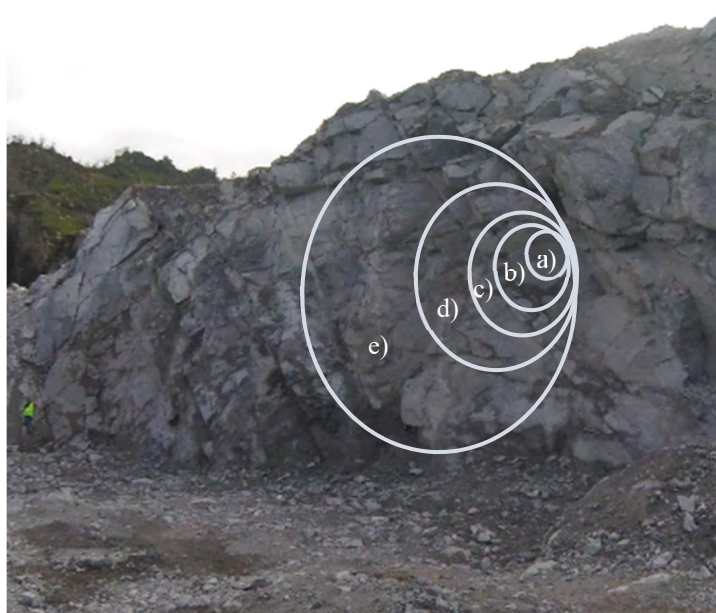


Figura 10- Diagrama idealizado mostrando transição desde rocha intacta até o maciço fraturado com o incremento do tamanho de amostra: a) rocha intacta; b) uma descontinuidade c) duas descontinuidades; d) rocha fraturada; e) Maciço rochoso.

Estas descontinuidades ao formarem blocos de “rocha intacta” e controlarem os processos de deformação e rotura dos maciços rochosos a cotas superficiais, interessam na grande maioria das obras de engenharia. São também elas que permitem a extração dos materiais rochosos nas pedreiras onde, naturalmente, se aproveitam as superfícies de fraqueza para obter o desmonte primário das massas exploráveis (Costa, 2007).

As discontinuidades podem ser de variados tipos, dependendo essencialmente da sua génese:

- origem sedimentar (e.g., superfícies de estratificação ou laminação);
- diagénica (e.g., estruturas filoneanas);
- tectónica (e.g., diaclases e falhas).

No quadro 3, classificam-se os distintos tipos de discontinuidades, tendo estes sido agrupados em sistemáticas, quando aparecem em famílias, e em singulares, quando surge um único plano que intersecta o maciço rochoso.

Quadro 3- Tipos de discontinuidades (adaptado de ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

Descontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificação	Falhas
	Planos de laminação	Filões
	Planos de xistosidade	Discordâncias estratigráficas
	Diaclases e fissuras	-
Lineares	Intersecção de discontinuidades planares	Eixos de dobras
	Lineações	

A nível de ocorrência, as diaclases são os planos de discontinuidade com maior frequência nos maciços rochosos e de acordo com a ISRM (1978), correspondem a fraturas nas quais não houve deslocamento entre as superfícies de fratura.

O estudo da distribuição espacial das discontinuidades, através da investigação geológico estrutural, compreende a definição dos sistemas de famílias e respetivas atitudes geológicas, espaçamento e persistência. Um conjunto de discontinuidades com a mesma atitude caracteriza uma família de discontinuidades. Um conjunto de famílias que é característico de uma dada zona do maciço define um sistema.

2.5. Parâmetros Geológico-Geotécnicos das Descontinuidades

Na caracterização de um dado maciço rochoso, os parâmetros a considerar na descrição e detalhe exaustivo das discontinuidades e do seu tipo, são parâmetros físicos e geométricos que permitam conhecer melhor as suas propriedades e classificar o maciço rochoso em estudo (ISRM 1978, 1981). Esses parâmetros são recolhidos em trabalho de campo, com atuação sistematizada na recolha de informação e com o auxílio de normas e procedimentos criteriosos, que se encontram estabelecidos com determinada nomenclatura (ISRM 1978, 1981), cujo objetivo é facilitar a compreensão e entendimento factual e técnico dos elementos tratados para que sirva de base a uma classificação funcional do maciço rochoso (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

No quadro 4 e figura 11 encontra-se apresentado e ilustrado os parâmetros geológico-geotécnicos que são avaliados em cada uma das discontinuidades levantadas de forma a permitir caracterizar o maciço. Algumas das propriedades evidenciadas, configuram em termos práticos o comportamento mecânico expectável do maciço rochoso.

Quadro 4- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos de caracterização das discontinuidades.

Parâmetros geológico - geotécnicos (BDG)
Atitude geológica (direção/inclinação)
Grau de fracturação / "fracture intercept"
Espaçamento
Continuidade ou persistência
Abertura
Resistência da parede das discontinuidades
Rugosidade
Preenchimento ou Enchimento
Percolação ou infiltração

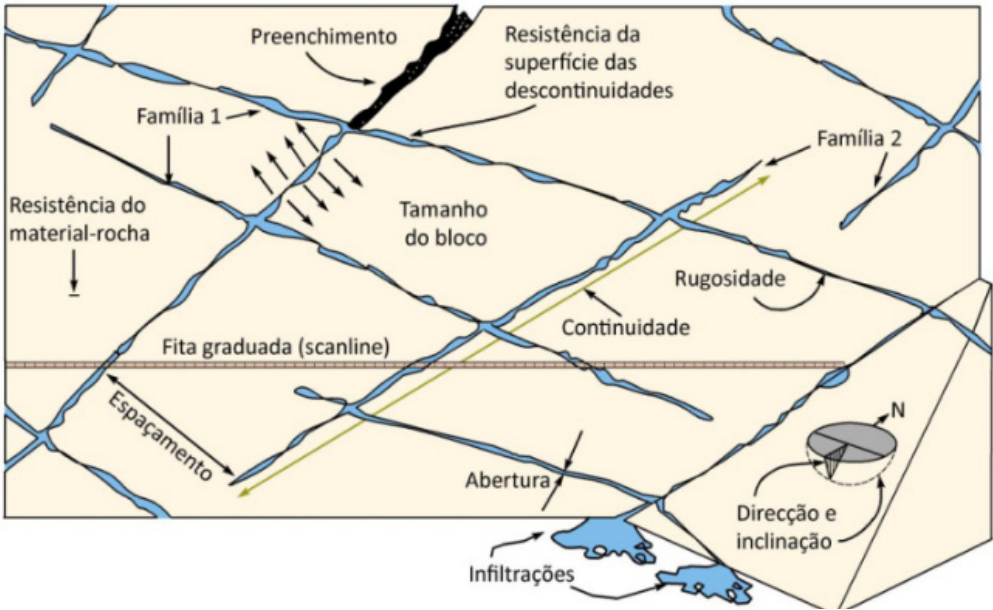




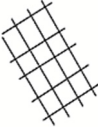
Figura 11- Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de Hudson & Harrison, 2000).

Nos quadros 5 a 9 são apresentados em traços gerais os parâmetros geológico-geotécnicos das discontinuidades (adaptado: ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Quadro 5- Atitude geológica e Grau de fracturação - parâmetros geológico-geotécnicos das discontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011; Priest, 1993; Dinis da Gama, 1995; Chaminé et al., 2001, 2013, 2015, 2016; Chaminé, 2016).

Parâmetros geológico - geotécnicos (BDG)																				
Atitude geológica (direção e inclinação)	Breve descrição, equipamentos e/ou processo de avaliação	Esquemas e Classificações																		
	<p>A orientação espacial de uma discontinuidade, é dada pela sua direção (ângulo que uma linha horizontal do plano define com o Norte magnético) e inclinação (ângulo que a reta de maior declive da discontinuidade define com o plano horizontal). A medição da atitude das discontinuidades é efetuada com uma bússola dotada de um clinómetro ("bússola de geólogo"). No estudo do maciço rochoso deve ser realizada uma medição representativa das atitudes das discontinuidades (150 a 200 discontinuidades), sendo que orientações semelhantes ou muito próximas devem ser agrupadas numa mesma família, podendo existir vários conjuntos (famílias) diferentes. Após a medição das orientações das discontinuidades no terreno, é efetuado o tratamento estatístico dos dados através de diagramas geológico-estruturais, com recurso a projeções estereográficas polares (diagramas de contorno estrutural ou estereogramas) e diagramas de rosetas.</p>																			
Grau de fracturação: espaçamento	<p>Distância média entre discontinuidades sucessivas, medida, por exemplo, segundo a intersecção com uma linha de amostragem (scanline). Este conceito não pressupõe uma estimativa do espaçamento entre discontinuidades da mesma família, mas em relação ao espaçamento entre todas discontinuidades cartografadas, se possível segundo uma linha de amostragem, no maciço. Sempre que possível dever-se-á estimar o grau de fracturação global (independentemente das famílias consideradas) e o espaçamento entre cada família.</p> <p>Denomina-se espaçamento, ao afastamento médio entre discontinuidades, medido segundo a normal aos seus planos. Para cada família, o espaçamento entre as discontinuidades será calculado por subtração das distâncias à origem da fita graduada. A frequência média das discontinuidades designa-se como a média do número de discontinuidades cartografadas por unidade de comprimento ao longo de uma linha de amostragem, sendo por esta razão recíproca da média do espaçamento.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Intervalos (cm)</th><th>Simbologia</th><th>Designação</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>>200</td><td>F1</td><td>Afastadas</td></tr> <tr> <td>60-200</td><td>F2</td><td></td></tr> <tr> <td>20-60</td><td>F3</td><td>Medianamente afastadas</td></tr> <tr> <td>2-6</td><td>F4</td><td></td></tr> <tr> <td><6</td><td>F5</td><td>Próximas</td></tr> </tbody> </table>	Intervalos (cm)	Simbologia	Designação	>200	F1	Afastadas	60-200	F2		20-60	F3	Medianamente afastadas	2-6	F4		<6	F5	Próximas
Intervalos (cm)	Simbologia	Designação																		
>200	F1	Afastadas																		
60-200	F2																			
20-60	F3	Medianamente afastadas																		
2-6	F4																			
<6	F5	Próximas																		

Quadro 6- Continuidade ou persistência e Abertura- parâmetros geológico-geotécnicos das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Parâmetros geológico - geotécnicos (BDG)																											
	Breve descrição, equipamentos e/ou processo de avaliação	Esquemas e Classificações																									
Continuidade ou persistência	<p>A continuidade ou persistência de um plano de descontinuidades é medida segundo o seu traço no plano de observação. É um parâmetro de grande importância, mas de difícil quantificação a partir da observação de afloramentos, onde se conseguem visualizar os traços dos planos de descontinuidade segundo uma inclinação aparente. A continuidade das descontinuidades é muitas vezes determinante para definir as características mecânicas de potenciais superfícies de rotura. No caso de taludes rochosos é de enorme importância tentar avaliar o grau de continuidade das descontinuidades que apresentam orientação desfavorável à estabilidade. A medição da continuidade realiza-se mediante a utilização de uma fita graduada.</p>	<table><tr><th>Comprimento (m)</th><th>Continuidade</th></tr><tr><td><1</td><td>Muito pouco contínuas</td></tr><tr><td>1-3</td><td>Baixa continuidade</td></tr><tr><td>3-10</td><td>Continuidade média</td></tr><tr><td>10-20</td><td>Continuidade elevada</td></tr><tr><td>>20</td><td>Continuidade muito elevada</td></tr></table> <div></div>	Comprimento (m)	Continuidade	<1	Muito pouco contínuas	1-3	Baixa continuidade	3-10	Continuidade média	10-20	Continuidade elevada	>20	Continuidade muito elevada													
		Comprimento (m)	Continuidade																								
<1	Muito pouco contínuas																										
1-3	Baixa continuidade																										
3-10	Continuidade média																										
10-20	Continuidade elevada																										
>20	Continuidade muito elevada																										
Abertura	<p>A abertura é a distância perpendicular que separa as paredes da descontinuidade. Este parâmetro pode ser muito variável em diferentes zonas do mesmo maciço rochoso. A influência da abertura na resistência ao corte de uma descontinuidade é importante, mesmo em descontinuidades fechadas, pois modificam as tensões efetivas que atuam nas paredes das descontinuidades Este parâmetro pode ser medido com uma régua graduada.</p>	<table><tr><th>Abertura (mm)</th><th>Descrição</th><th>Características</th></tr><tr><td><0,1</td><td>Muito apertada</td><td rowspan="2">Fechada</td></tr><tr><td>0,1-0,25</td><td>Apertada</td></tr><tr><td>0,25-0,5</td><td>Parcialmente aberta</td><td rowspan="2">Aberta</td></tr><tr><td>0,5-2,5</td><td>Aberta</td></tr><tr><td>2,5-10</td><td>Razoavelmente larga</td><td rowspan="2">Muito aberta</td></tr><tr><td>>10</td><td>Larga</td></tr><tr><td>10-100</td><td>Muito larga</td><td rowspan="2">Cavernosa</td></tr><tr><td>100-1000</td><td>Extremamente larga</td></tr><tr><td>>1000</td><td>Cavernosa</td></tr></table>	Abertura (mm)	Descrição	Características	<0,1	Muito apertada	Fechada	0,1-0,25	Apertada	0,25-0,5	Parcialmente aberta	Aberta	0,5-2,5	Aberta	2,5-10	Razoavelmente larga	Muito aberta	>10	Larga	10-100	Muito larga	Cavernosa	100-1000	Extremamente larga	>1000	Cavernosa
Abertura (mm)	Descrição	Características																									
<0,1	Muito apertada	Fechada																									
0,1-0,25	Apertada																										
0,25-0,5	Parcialmente aberta	Aberta																									
0,5-2,5	Aberta																										
2,5-10	Razoavelmente larga	Muito aberta																									
>10	Larga																										
10-100	Muito larga	Cavernosa																									
100-1000	Extremamente larga																										
>1000	Cavernosa																										

Quadro 7- Preenchimento e rugosidade- parâmetros geológico-geotécnicos das discontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Parâmetros geológico - geotécnicos (BDG)					
Preenchimento ou enchimento	Breve descrição, equipamentos e/ou processo de avaliação	Esquemas e Classificações			
	Existência de materiais, em regra, diferente do material da própria rocha que constitui o maciço, entre os bordos dos dois blocos sendo cada material possui propriedades físicas e mecânicas muito diferentes. Sabendo que se trata de materiais brandos ou alterados, estes podem sofrer variações importantes nas suas propriedades resistentes a curto prazo. As principais características a ter em conta são: a natureza do material, espessura, resistência ao corte e a permeabilidade. A caracterização física e mecânicas do material de enchimento revela-se de maior interesse, devido a sua permeabilidade e espessura condicionar as características de percolação da água nas discontinuidades. Generalizando, pode dizer-se que o material de preenchimento é predominantemente constituído por minerais (calcite, quartzo, etc.), rochas detríticas (clastos, conglomerados, brechas de falha, etc.) mas sobretudo por solos (argilas, areias, siltes, etc.) em maior ou menor grau de consolidação ou cimentação.	Características do enchimento	Medição/identificação		
		Espessura	Régua graduada		
		Descrição enchimento	Material, mineralogia e tamanho do grão;		
		Resistência	Índices de campo (estimativa aproximada e classificação da resistência à compressão simples dos solos e rochas a partir de índices de campo);		
		Humidade /permeabilidade	Grau da humidade e permeabilidade (qualitativamente) do material de enchimento.		
Rugosidade	Irregularidade (aspereza em termos de ondulação) nas superfícies das discontinuidades. Este parâmetro tem influência na resistência ao corte apresentada destas superfícies, i.e., quanto maior for a rugosidade, maior será a resistência ao corte. A ondulação e a rugosidade dos planos podem controlar as possíveis direções e facilidade de deslocamento relativo dos blocos. A descrição da rugosidade realiza-se em duas escalas, a escala decimétrica e métrica para a ondulação das superfícies de discontinuidade: plana, ondulada e denteada; escala milimétrica e centimétrica para a rugosidade: superfícies estriadas, lisas ou rugosas. O método mais usual e rápido de medição é a comparação visual da discontinuidade com perfis padrão de rugosidade que caracterizam qualitativamente as paredes das discontinuidades.	Forma do perfil	Classe	Descrição	Nomenclatura
		Denteada	I	Muito rugosa	R4-5
			II	Rugosa	R3
			III	Lisa a algo rugosa	R1-2
		Ondulada	IV	Muito rugosa	R4-5
			V	Rugosa	R3
			VI	Lisa a algo rugosa	R1-2
		Plana	VII	Muito rugosa	R4-5
			VIII	Rugosa	R3
IX	Lisa a algo rugosa		R1-2		

Quadro 8- Terminação, curvatura e percolação de água - parâmetros geológico-geotécnicos das paredes do material-rocha que limitam as discontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Parâmetros geológico - geotécnicos (BDG) das paredes do material-rocha que limitam a discontinuidade																					
Terminação	Breve descrição, equipamentos e/ou processo de avaliação	Esquemas e Classificações																			
	A terminação, tal como o próprio nome indica, é onde termina a discontinuidade. Um maciço com um elevado número de discontinuidades a terminar noutra discontinuidade, indica que estamos na presença de um maciço mais fraturado, enquanto, se uma discontinuidade terminar em rocha, indica um maciço menos fraturado com discontinuidades pouco extensas.	<table><thead><tr><th>Nomenclatura</th><th>Designação</th><th>Descrição</th></tr></thead><tbody><tr><td>R</td><td>Rocha</td><td>A discontinuidade dissipa-se no maciço rochoso.</td></tr><tr><td>D</td><td>Descontinuidade</td><td>A discontinuidade termina ao intercalar outra discontinuidade.</td></tr><tr><td>O</td><td>Obscura</td><td>Não se consegue observar a terminação da discontinuidade.</td></tr></tbody></table>	Nomenclatura	Designação	Descrição	R	Rocha	A discontinuidade dissipa-se no maciço rochoso.	D	Descontinuidade	A discontinuidade termina ao intercalar outra discontinuidade.	O	Obscura	Não se consegue observar a terminação da discontinuidade.							
Nomenclatura	Designação	Descrição																			
R	Rocha	A discontinuidade dissipa-se no maciço rochoso.																			
D	Descontinuidade	A discontinuidade termina ao intercalar outra discontinuidade.																			
O	Obscura	Não se consegue observar a terminação da discontinuidade.																			
Curvatura	A curvatura (C) de uma discontinuidade é uma característica geométrica igualmente importante a registar.	Designação																			
		<table><thead><tr><th>Nomenclatura</th><th>Designação</th></tr></thead><tbody><tr><td>C1-2</td><td>Superfícies planas a ligeiramente curvas</td></tr><tr><td>C3</td><td>Superfícies algo curvas a curvas</td></tr><tr><td>C4-5</td><td>Superfícies muito a extremamente curvas</td></tr></tbody></table>	Nomenclatura	Designação	C1-2	Superfícies planas a ligeiramente curvas	C3	Superfícies algo curvas a curvas	C4-5	Superfícies muito a extremamente curvas											
Nomenclatura	Designação																				
C1-2	Superfícies planas a ligeiramente curvas																				
C3	Superfícies algo curvas a curvas																				
C4-5	Superfícies muito a extremamente curvas																				
Percolação água	Corresponde a água que circula no interior do maciço rochoso, normalmente pelas discontinuidades abertas, embora em algumas rochas permeáveis a água circule pela matriz rochosa. A previsão da posição do nível freático, assim como dos caminhos de percolação e a pressão da água nos poros e discontinuidades, proporcionam muitas vezes indicações da existência de potenciais problemas de instabilidade de um dado maciço rochoso. Em geral, a condutividade hidráulica de uma dada família varia na razão inversa do espaçamento. A identificação da presença de água realiza-se por inspeção visual e sensibilidade ao toque.	Classe																			
		<table><thead><tr><th></th><th>Descontinuidade sem enchimento</th><th>Descontinuidade com enchimento</th></tr></thead><tbody><tr><td>I</td><td>A discontinuidade é apertada e seca, não aparenta ser possível a circulação de água</td><td>Material de enchimento fortemente consolidado e seco; um fluxo significativo é improvável devido à baixa permeabilidade</td></tr><tr><td>II</td><td>A discontinuidade é seca e sem evidência de fluxo de água</td><td>O material de enchimento é húmido, mas sem presença de água livre</td></tr><tr><td>III</td><td>A discontinuidade é seca, mas mostra evidências de fluxo de água, i.e., marcas de oxidação, etc.</td><td>Material de enchimento está molhado, com gotejamento ocasional</td></tr><tr><td>IV</td><td>A discontinuidade é húmida, mas sem presença de água livre</td><td>Material de enchimento mostra sinais de lavagem, fluxo de água contínuo [estimar o caudal (L/min)]</td></tr><tr><td>V</td><td>A discontinuidade apresenta percolação com gotejamento ocasional, mas sem fluxo contínuo</td><td>Material de enchimento localmente lavado, fluxo considerável nos canais de circulação preferenciais [estimar o caudal (L/min) e pressão]</td></tr><tr><td>VI</td><td>A discontinuidade apresenta um fluxo de água contínuo [estimar o caudal (L/min) e pressão]</td><td>Material de enchimento completamente lavado, pressões de água elevadas [estimar o caudal (L/min) e pressão]</td></tr></tbody></table>		Descontinuidade sem enchimento	Descontinuidade com enchimento	I	A discontinuidade é apertada e seca, não aparenta ser possível a circulação de água	Material de enchimento fortemente consolidado e seco; um fluxo significativo é improvável devido à baixa permeabilidade	II	A discontinuidade é seca e sem evidência de fluxo de água	O material de enchimento é húmido, mas sem presença de água livre	III	A discontinuidade é seca, mas mostra evidências de fluxo de água, i.e., marcas de oxidação, etc.	Material de enchimento está molhado, com gotejamento ocasional	IV	A discontinuidade é húmida, mas sem presença de água livre	Material de enchimento mostra sinais de lavagem, fluxo de água contínuo [estimar o caudal (L/min)]	V	A discontinuidade apresenta percolação com gotejamento ocasional, mas sem fluxo contínuo	Material de enchimento localmente lavado, fluxo considerável nos canais de circulação preferenciais [estimar o caudal (L/min) e pressão]	VI
	Descontinuidade sem enchimento	Descontinuidade com enchimento																			
I	A discontinuidade é apertada e seca, não aparenta ser possível a circulação de água	Material de enchimento fortemente consolidado e seco; um fluxo significativo é improvável devido à baixa permeabilidade																			
II	A discontinuidade é seca e sem evidência de fluxo de água	O material de enchimento é húmido, mas sem presença de água livre																			
III	A discontinuidade é seca, mas mostra evidências de fluxo de água, i.e., marcas de oxidação, etc.	Material de enchimento está molhado, com gotejamento ocasional																			
IV	A discontinuidade é húmida, mas sem presença de água livre	Material de enchimento mostra sinais de lavagem, fluxo de água contínuo [estimar o caudal (L/min)]																			
V	A discontinuidade apresenta percolação com gotejamento ocasional, mas sem fluxo contínuo	Material de enchimento localmente lavado, fluxo considerável nos canais de circulação preferenciais [estimar o caudal (L/min) e pressão]																			
VI	A discontinuidade apresenta um fluxo de água contínuo [estimar o caudal (L/min) e pressão]	Material de enchimento completamente lavado, pressões de água elevadas [estimar o caudal (L/min) e pressão]																			

Quadro 9- Resistência à compressão uniaxial - parâmetros geológico-geotécnicos das paredes do material-rocha que limitam as descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Resistência a compressão uniaxial			
Equipamento e/ou processo de avaliação /medição	A resistência da matriz rochosa pode ser estimada a partir do afloramento mediante índices de campo ou a partir de correlações com dados de ensaio de campo, como o ensaio com o martelo de Schmidt. O índice de campo permite estimar a resistência da rocha. A partir do ensaio com martelo de Schmidt ou esclerómetro portátil é possível medir a resistência que se correlaciona com a resistência à compressão simples.		
Classificação	Grau(R-Rock)	Designação	Resistência a compressão uniaxial aproximada
	R0	Rocha muito fraca	Marcada pela unha do polegar. 0,25-1
	R1	Rocha fraca(I)	Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete. 1-5
	R2	Rocha fraca (2)	Pode ser cortada em fatias com um canivete com dificuldade. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. 5-25
	R3	Rocha razoavelmente resistente	Não pode ser esmigalhada ou cortado em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha. 25-50
	R4	Rocha resistente	Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo. 50-100
	R5	Rocha muito resistente	Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo. 100-250
	R6	Rocha extremamente resistente	Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo. >250

2.6. Parâmetros Geológicos- Geotécnicos: Caracterização Global do Maciço Rochoso

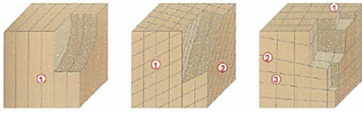
Para a caracterização global do maciço rochoso a partir dos dados obtidos no estudo dos afloramentos, juntamente com a descrição dos seus componentes, da matriz-rochosa e das descontinuidades, devem ser considerados outros aspetos representativos do conjunto, tais como:

- Número e orientação das famílias de descontinuidades (quadro 10 e figura 12);
- Tamanho de blocos (quadro 11);
- Intensidade da fracturação e grau de alteração (quadro 12, 13 e figura 13).

O comportamento mecânico do maciço rochoso e os seus mecanismos de rotura estão condicionados, em grande parte, pelo número de famílias de descontinuidades. A intensidade

do grau de fracturação e o tamanho dos blocos da matriz rochosa são dados pelo número de famílias de descontinuidades e pelo espaçamento de cada família.

Quadro 10- Número e orientação das famílias de descontinuidades para a caracterização global do maciço (adaptado ISRM e Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

Número e orientação das famílias de descontinuidades																					
Descrição	Esquemas																				
<p>Cada uma das famílias fica caracterizada pela sua orientação no espaço, pelas suas propriedades e características mecânicas dos planos estruturais.</p> <p>As descontinuidades são agrupadas em famílias de acordo com a sua orientação e, posteriormente, tratadas estatisticamente (pelo menos 150 descontinuidades) através de técnicas de projeção estereográfica (diagramas de rosetas, estereogramas), apurando-se assim a orientação média de cada família Considera-se que a família principal (de maior importância) presente num maciço rochoso é aquela que apresenta maior grau de penetrabilidade (e.g., maior continuidade, menor espaçamento, maior abertura, etc.).</p> <p>As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de bloco-diagramas, permitindo assim a visualização espacial da sua orientação relativa e do tamanho e forma dos blocos de matriz rochosa.</p> <p>As descontinuidades quando dispostas com uma certa regularidade designam-se por superfícies de compartimentação, constituindo os planos de anisotropia planar de fraqueza estrutural.</p>	<table> <tr> <th>Tipo de Maciço Rochoso</th><th>Número de famílias</th></tr> <tr> <td>I</td><td>Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</td></tr> <tr> <td>II</td><td>Uma família de descontinuidades.</td></tr> <tr> <td>III</td><td>Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</td></tr> <tr> <td>IV</td><td>Duas famílias de descontinuidades.</td></tr> <tr> <td>V</td><td>Duas famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</td></tr> <tr> <td>VI</td><td>Três famílias de descontinuidades.</td></tr> <tr> <td>VII</td><td>Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</td></tr> <tr> <td>VIII</td><td>Quatro ou mais famílias de descontinuidades.</td></tr> <tr> <td>IX</td><td>Maciço de rocha muito esmagada, com o aspeto idêntico ao de um solo.</td></tr> </table> <div>  <div> 1 Família 2 Famílias 3 Famílias </div> </div>	Tipo de Maciço Rochoso	Número de famílias	I	Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.	II	Uma família de descontinuidades.	III	Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.	IV	Duas famílias de descontinuidades.	V	Duas famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.	VI	Três famílias de descontinuidades.	VII	Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.	VIII	Quatro ou mais famílias de descontinuidades.	IX	Maciço de rocha muito esmagada, com o aspeto idêntico ao de um solo.
Tipo de Maciço Rochoso	Número de famílias																				
I	Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.																				
II	Uma família de descontinuidades.																				
III	Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.																				
IV	Duas famílias de descontinuidades.																				
V	Duas famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.																				
VI	Três famílias de descontinuidades.																				
VII	Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.																				
VIII	Quatro ou mais famílias de descontinuidades.																				
IX	Maciço de rocha muito esmagada, com o aspeto idêntico ao de um solo.																				

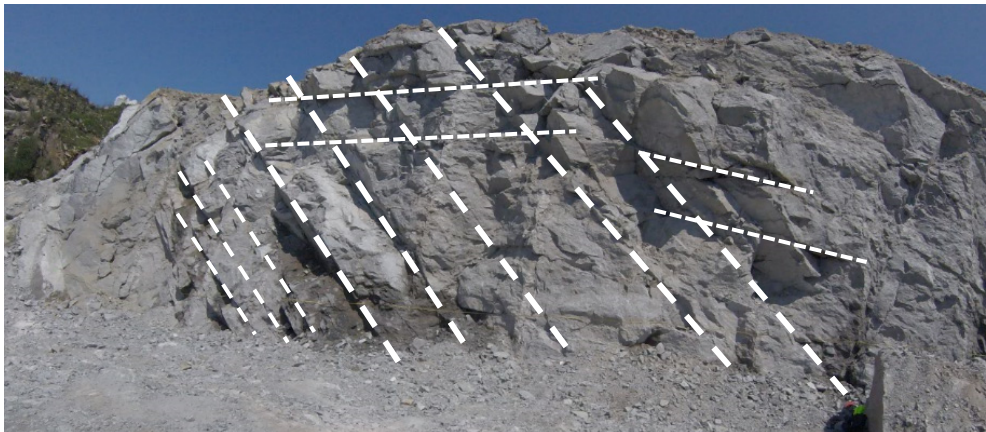


Figura 12- Representação das principais famílias de descontinuidades.

Quadro 11- Tamanho dos blocos e intensidade de fracturação para a caracterização global do maciço (ISRM 1978, 1981).

Tamanho dos blocos e intensidade de fracturação															
<p>O tamanho dos blocos que constituem o maciço rochoso condiciona de forma significativa o seu comportamento e as suas propriedades resistentes. A dimensão e a forma dos blocos estão definidas pelo número de famílias de descontinuidades, pela sua orientação, espaçamento e continuidade. A ISRM definiu seis tipos de maciços rochosos (compacto, em blocos, tabular, colunar, irregular e esmagado).</p>															
Avaliação do tamanho dos blocos															
<p>→ Índice Dimensional do tamanho dos blocos – I_b (“Block Size Index”)</p> <p>Mediante o índice dimensional do tamanho dos blocos – I_b (“Block Size Index”), que representa as dimensões médias dos blocos tipo medidos nos afloramentos. Este índice, perde significado para mais de quatro famílias de descontinuidades, sendo, assim, dado pela média dos comprimentos dos três lados do sólido em questão. Por exemplo, no caso de uma rocha sedimentar (e.g., arenito) com planos de estratificação perpendiculares entre si, o índice I_b, seria definido por:</p> $I_b = (e_1 + e_2 + e_3) / 3$ <p>em que, em (n=1, 2, 3) são os valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades e n o número de famílias.</p>	<p>→ Índice Volumétrico - J_v (“Volumetric Joint Count”)</p> <p>Representa o número total de descontinuidades que intercetam uma unidade de volume (1 m³) do maciço rochoso. É obtido com base nos espaçamentos médios das famílias de descontinuidades presentes através da expressão:</p> $1/e_n + 1/e_n + 1/e_n, +... + N_r/5$ <p>em que, em (n=1, 2, 3) são os valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades e n o número de famílias e N_r a soma do número de descontinuidades pertencentes a cada uma das famílias.</p> <p>A partir dos valores obtidos para J_v é então possível a descrição do tamanho dos blocos em função do número de descontinuidades.</p> <table> <tr> <th>J_v (Descontinuidade/ m³)</th><th>Tamanho dos blocos</th></tr> <tr> <td><1</td><td>Blocos muito grandes</td></tr> <tr> <td>[1-3]</td><td>Blocos grandes</td></tr> <tr> <td>[3-10]</td><td>Blocos médios</td></tr> <tr> <td>[10-30]</td><td>Blocos pequenos</td></tr> <tr> <td>[30-60]</td><td>Blocos muito pequenos</td></tr> <tr> <td>> 60</td><td>Rocha esmagada</td></tr> </table>	J _v (Descontinuidade/ m ³)	Tamanho dos blocos	<1	Blocos muito grandes	[1-3]	Blocos grandes	[3-10]	Blocos médios	[10-30]	Blocos pequenos	[30-60]	Blocos muito pequenos	> 60	Rocha esmagada
J _v (Descontinuidade/ m ³)	Tamanho dos blocos														
<1	Blocos muito grandes														
[1-3]	Blocos grandes														
[3-10]	Blocos médios														
[10-30]	Blocos pequenos														
[30-60]	Blocos muito pequenos														
> 60	Rocha esmagada														

Quadro 12- Grau de alteração para a caracterização global do maciço (adaptado ISRM, 1978, 1981).

Grau de alteração				
A alteração de uma rocha consiste na sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutra produto natural. A determinação do estado de alteração de um maciço rochoso ou do material-rocha, é um fator importante a considerar. Este aspeto pode ser determinado de uma maneira quantitativa, recorrendo a medição de parâmetros como a resistência da rocha, a velocidade de propagação de ultrassons (e.g., ensaios geofísicos de refração sísmica) ou outros. A avaliação do grau de alteração do maciço rochoso realiza-se por observação direta do afloramento e comparação com os índices padrão presentes no quadro abaixo.				
Grau de alteração	Nomenclatura	Características	Grau de alteração	
Sã ou não alterada	W1	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.	W1-2	Rocha sã a pouco alterada
Ligeiramente alterada	W2	Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração). Registrar qual o mineral com mudança de coloração e se possível indicar o grau de descoloração.		
Moderadamente alterada	W3	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a Petrofábrica original.	W3	Rocha medianamente alterada
Muito alterada	W4	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo. A rocha é muito friável.	W4-5	Rocha muito alterada a decomposta
Completamente alterada	W5	Todo o material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo residual.		

Para uma análise mais precisa, deve-se fragmentar um pedaço de rocha para se analisar o estado da matriz rochosa. Existem também meios expeditos para suportar esta determinação, como, por exemplo, verificar-se: a rocha quebra à pancada com o martelo de geólogo e a resistência que lhe oferece; a rocha é friável ao toque; a rocha se desagrega quando imersa em água.



Figura 13- Evidências de alteração no maciço rochoso, traduzida em mudanças na cor original da matriz rochosa.

Quadro 13- Índice de qualidade QRD para a caracterização global do maciço (adaptado Palmstrom, 1995; Deere & Deere, 1988).

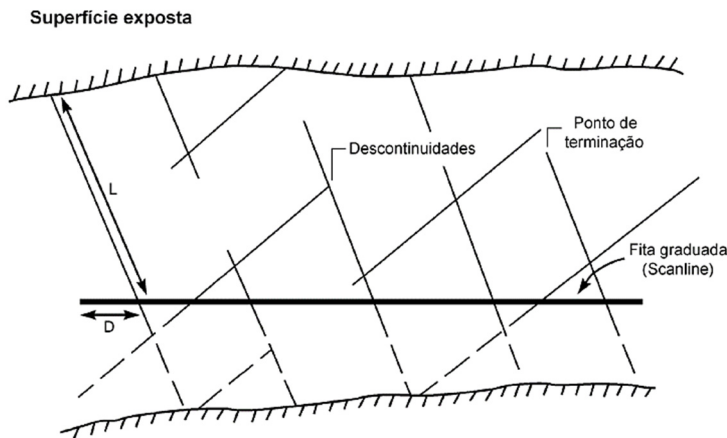
Índice de qualidade RQD (Rock Quality Designation)	
<p>Este índice é utilizado para avaliar a intensidade de fracturação e classificar o maciço rochoso quanto ao seu “grau de fracturação”. Apesar da sua utilidade prática, este índice não considera aspetos como a orientação, o espaçamento, os preenchimentos e outras condições das descontinuidades, logo não será suficiente para descrever as características da fracturação dos maciços rochosos.</p> <p>Existem várias práticas para determinar o seu valor, no entanto, em afloramento, pode ser estimado a partir da correlação empírica com o índice Jv (Palmstrom, 1995):</p>	
$\text{RQD} = 115 - 3,3 J_v$	para $J_v > 4,5$
$\text{RQD} = 100$	para $J_v \leq 4,5$
<p>Pode ser avaliado a partir de testemunhos de sondagem, em função da sua intensidade de fracturação (e.g., Deere & Deere, 1988). A obtenção deste parâmetro realiza-se através da expressão:</p> $\text{RQD (\%)} = \frac{\sum L \geq 10\text{cm}}{L_T} \times 100$ <p>em que, $\sum L \geq 10 \text{ cm}$ - somatório dos testemunhos não alterados com comprimento igual ou superior a 10 cm e L_T - comprimento total de sondagem. Existe também a possibilidade de obter este índice através do parâmetro λ, frequência das descontinuidades, mediante a expressão seguinte, que expressa o valor teórico do RQD:</p> $\text{RQD} \approx 100 e^{(-0,1 \times \lambda)} \times (0,1 \times \lambda + 1)$ <p>Onde, λ é a inversa do espaçamento médio das descontinuidades. A qualidade da rocha pode ser avaliada conforme o quadro abaixo.</p>	
RQD (%)	Qualidade do maciço
0 – 25	Muito fraco
25 - 50	Fraco
50 - 75	Razoável
75 - 90	Bom
90 - 100	Excelente

2.7. Classificação Geomecânica do Maciço Rochoso

2.7.1. Técnica da Amostragem Linear – SCANLINE

No quadro 14 esta representada e descrita a técnica de amostragem linear e no anexo 3 esta anexada a ficha de campo do levantamento geológico-geotécnico.


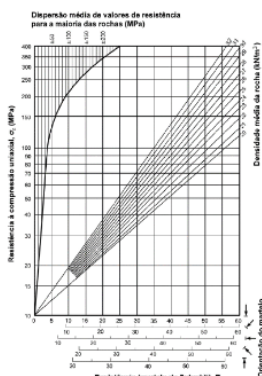
Quadro 14- Caracterização da Técnica de Amostragem Linear, “Scanline Sampling Technique” (adaptado de: Brady & Brown, 2004; Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al. 2013, 2014; Chaminé, 2016; Chaminé et al., 2016).

Descrição da Técnica
Consiste na colocação de uma fita graduada em superfícies expostas do maciço rochoso e no registo dos parâmetros geológico-geotécnicos de todas as descontinuidades que intersectam a fita ao longo do seu comprimento. Na aplicação desta técnica no maciço rochoso a fita graduada é colocada a 1,5 m de altura do solo. Para cada talude (painel) cartografado, depois de colocada a fita graduada a partir da origem de cada linha de amostragem, cartografa-se de uma forma sistemática todas as descontinuidades (e.g., diaclases, falhas, filões, etc.) que intersectavam essa linha de amostragem. Para cada uma das descontinuidades que intersectavam esta linha de amostragem foram descritas e registados as seguintes grandezas: i) distância à origem da fita graduada; ii) L- semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da interseção da descontinuidade com a face exposta da rocha, apenas para um dos lados da fita graduada; iii) T- tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade; iv) atitude da descontinuidade; v) curvatura (C); vi) rugosidade (R); vii) dureza (ou resistência) da superfície de descontinuidade; viii) observações várias (e.g., natureza do preenchimento, abertura, percolação de água e qualquer outra característica relevante presente nas descontinuidades).
Representação esquemática
 <p>Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso (adaptado de Singhal & Gupta, 2010). D – Distância à origem da fita graduada (“scanline”); L – semi-comprimento exposto.</p>
Base de Dados
Os dados são registados, na ficha de levantamento geológico-geomecânico e posteriormente analisados na base de dados dinâmica - ScanGeoData BGD (Fonseca et al.,2010;Galiza et al.,2011 ^{a,b} ;Chaminé et al.,2013,2014- juntamente com a seguinte informação sobre a linha de amostragem, superfície exposta do macio e dados gerais: i) orientação do talude e da scanline, ii) sentido de leitura; iii) unidade geológica ; iv zona geotécnica) altura da scanline ao solo; vi) rubrica do responsável pelo levantamento e vii) data.

2.7.2. Esclerómetro portátil – Martelo de Schmidt

No quadro 15 esta descrito toda a metodologia do Esclerómetro portátil e no anexo 3 a correspondente ficha de levantamento.

Quadro 15- Caracterização do ensaio de avaliação da resistência mecânica com a utilização do Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (Adaptado de Schmidt, 1951; Katz O., et al., 2000; Kahraman S., et al., 2002; Aydin & basu, 2005; Aydin 2008 ISRM, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Generalidades		
A resistência da matriz rochosa pode ser aproximadamente estimada no afloramento a partir de índice de campo e correlações com ensaios realizados “in situ”. Normalmente, para estimar o valor aproximado da resistência à compressão simples, ou seja, a dureza da material rocha em campo, utiliza-se o Esclerómetro de Portátil ou “martelo de Schmidt”. Este método foi desenvolvido em 1948 com ensaio de natureza não destrutivo de betão (Schmidt,1951), e usado a partir da década de 60, do século XX, para estimar a resistência em rocha (Cargill & shakoor,1990).		
Equipamento de medição e funcionamento		
É formado por um cilindro que no seu interior tem uma mola de aço resistente ligada a um êmbolo, o qual se liga a um ponteiro que desliza longitudinalmente ao longo de uma escala situada a meio do aparelho. O martelo de Schmidt foi projetado para níveis diferentes de energia de impacto, mas os modelos, geralmente, adotados para a determinação das propriedades dos materiais rochosos são os modelos L e N. O tipo L, é o martelo mais utilizado em estudos de maciços rochosos, o tipo N, é mais utilizado em estudo de betões. O ensaio de campo baseia-se na avaliação da dureza, através da medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície do maciço rochoso. Esta superfície deverá ser fresca e limpa, sem nenhum sinal de alteração e nem de fissuras. Na execução do ensaio, o aparelho deverá ser colocado perpendicularmente à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto (R), seguidamente, o valor do ressalto é registado numa escala(adimensional) do aparelho (10-100). Antes de se efetuar um novo disparo, o martelo deve ser armado, i.e., e a mola do aparelho deve estar ligeiramente comprimida.		
Avaliação da resistência		
Em cada local de ensaio registam-se 10 medições, tomando como valor representativo a média dos 5 valores mais elevados. Com o valor médio obtido, recorre-se ao ábaco de Miller (1965) obtendo-se o valor da resistência a compressão uniaxial, σ_c , para o material ensaiado, que tem em conta a densidade da rocha e a orientação do martelo em relação à superfície de rocha ensaiada (i.e., perpendicular à superfície de ensaio e normalizada para as orientações $\pm 90^\circ$, $\pm 45^\circ$ e 0°).		
<div><div></div><div><p>Dependência média de valores de resistência para a maioria das rochas (MPa)</p></div></div>		
Classificação	Resistência a compressão Simples (Mpa)	Designação
S1	<200	Muito elevada
S2	60 a 200	Elevada
S3	20 a 60	Média
S4	6 a 20	Baixa
S5	<6	Muito baixa



3.Desmonte De Maciços Rochosos: Perfuração

(Página propositadamente em branco)

3. Desmonte de Maciços Rochosos: Perfuração

3.1. Generalidades

A atividade de desmonte de maciços rochosos com o recurso a explosivos (figura 14), consiste no destaque de uma determinada porção do maciço, que deverá seguir uma orientação técnica, tendo em conta o objetivo a atingir.



Figura 14-Desmonte de maciço rochoso a céu aberto - Pedreira de Serdedelo - Ponte de Lima.

Esta atividade compreende um cronograma de operações (perfuração, carregamento e rebentamento, fragmentação secundária, carga e transporte e britagem), hierarquizáveis não só pela sequência de trabalhos, mas também pelas discutíveis percentagens distintas que cada operação tem no custo por tonelada de maciço desmontado. Na generalidade os custos das operações a jusante do desmonte serão tanto menores quanto menor for o resultado da amplitude da curva granulométrica resultante do desmonte (Galiza, et al. 2008).

Na indústria extrativa e transformadora de pedra natural, em geral, e na produção de agregados britados, em particular, o custo de produção é cada vez mais determinante para ser competitivo num mercado, hoje em dia, de mais oferta que procura. De cada operação deve-se obter o maior rendimento possível.

A perfuração é operação do processo de extração e transformação que se encontra no “topo da pirâmide” (figura 15), relativamente à cronologia de execução de todos os processos que culminam no produto final (Galiza et al. 2008).

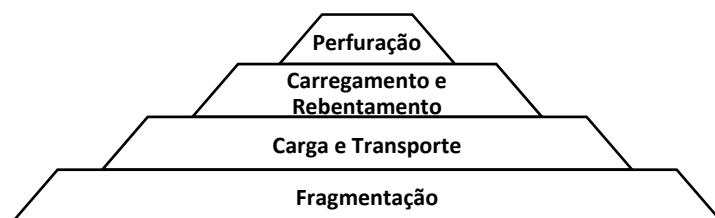


Figura 15-Pirâmide representativa das atividades de desmonte de rocha.

A otimização da perfuração é fundamental, tendo esta operação consequência direta no seu resultado técnico-económico e na interligação com as operações subsequentes, já referidas. O resultado das operações posteriores à perfuração, está relacionado com o sucesso da qualidade da perfuração (figura 16).

As quatro principais operações de desmonte (cinco operação com a fragmentação secundária) funcionam em cadeia, de uma forma sequencial, sendo que a qualidade/rentabilidade com que uma operação é realizada depende da anterior e influência a seguinte (Ramos, 2008).

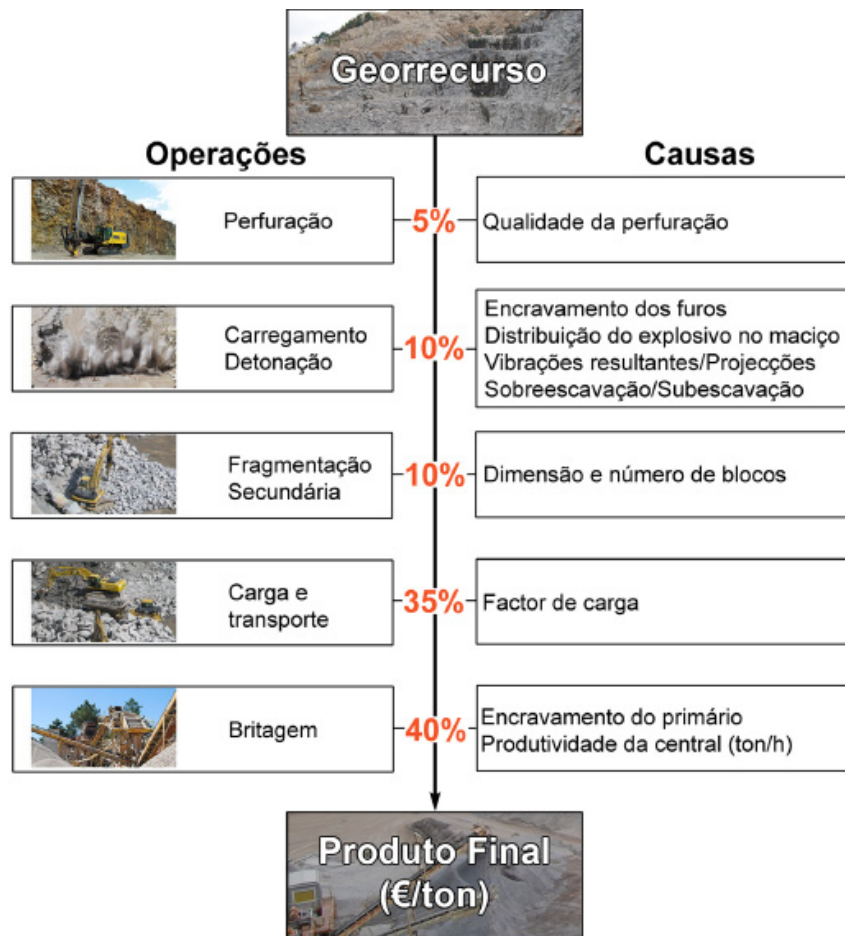


Figura 16- Fluxograma esquemático das atividades de extração e transformação de pedra natural, bem como as consequências que a execução da perfuração tem nas atividades subsequentes (Galiza et al., 2011).

A operação de britagem é a que tem um maior custo na totalidade das operações, representando cerca de metade dos custos, mas como é a última operação do processo de transformação é fortemente dependente das operações anteriores. A rentabilidade e produtividade da carga e transporte é influenciada pelo resultado do desmonte, em que uma boa fragmentação perspetiva um bom rendimento nesta operação.

A Figura 17 representa esquematicamente os custos da atividade em função do máximo tamanho de fragmentação, ilustrando uma curva dividida em três zonas - A, B e C. A zona B representa o total de custos quando é minimizado e mantido numa faixa aceitável (zona ótima). Nas zonas A e C, evidenciam-se os custos unitários de uma ou mais atividades que perfazem a produção global em custos excessivos.

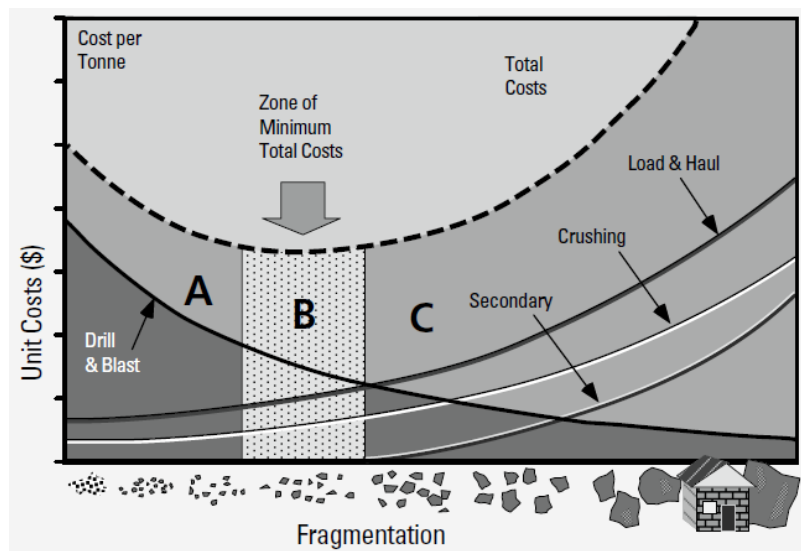


Figura 17- Custos associados as operações intervenientes no desmonte (Atlascopco 2008).

Neste caso, o custo-eficácia da fragmentação não passa necessariamente por aumentar a quantidade de desmontes, mas sim melhorar a qualidade do desmonte de forma a haver uma diminuição dos custos industriais. Quando do desmonte resulte uma boa distribuição granulométrica, não devesa causar impedimentos nas operações seguintes, mas caso as dimensões dos blocos admissíveis sejam ultrapassadas quer para os equipamentos de transporte quer para a britagem é necessário um tratamento com uma fragmentação secundária, sendo esta uma nova operação resultante da ineficácia da perfuração e detonação. A perfuração precisa e alinhada diminui a quantidade de blocos. Quando a malha do desmonte é aumentada, as variáveis principais a serem afetadas são a perfuração e o desmonte (fragmentação do material-rocha).

A fragmentação secundária (figura 18) é realizada através de meios mecânicos para fragmentar os blocos de maior dimensão, provocando a diminuição da produtividade, tornando-se uma operação dispendiosa monetariamente, sendo assim, importante evitá-la.



Figura 18-Fragmentação Secundária.

Uma perfuração alinhada trás benefícios económicos nas várias operações de desmonte, , tal como ilustra a figura 19.

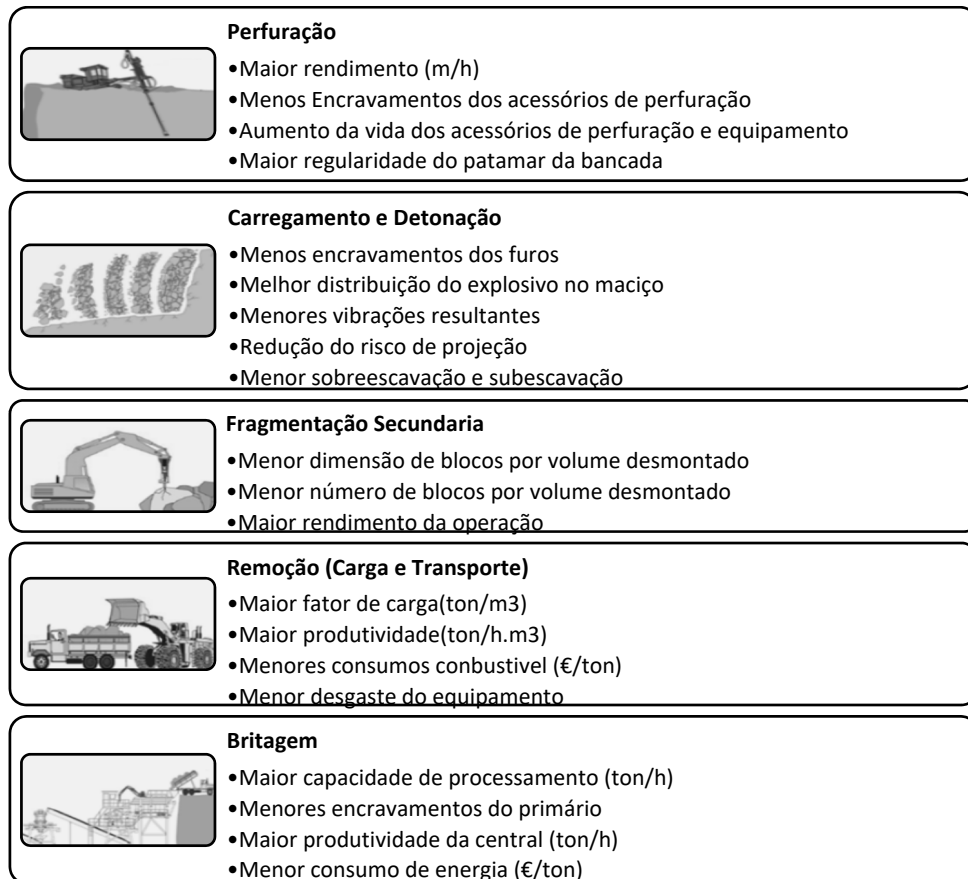


Figura 19- Benefícios de uma perfuração alinhada (adaptado de Galiza et al., 2011a, b, c).

A qualidade de execução da perfuração influência de forma determinante o sucesso do desmonte, necessitando de ter em conta três grupos de parâmetros a analisar para o seu controlo e correto dimensionamento (figura 20).

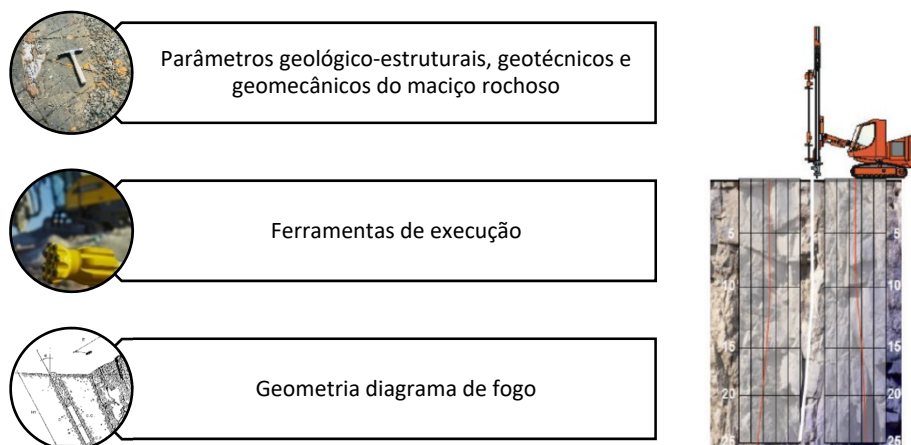


Figura 20-Fatores intervenientes na qualidade da perfuração.

Segundo Langefors & Kihlstrom (1978), o desvio expectável durante a perfuração é representado pelas fórmulas seguidamente apresentada, que permite estimar o desvio obtido:

$$F = (d/1000) + 0,03.H$$

$$F = (0.05 + 0.03.H)$$

onde F representa o desvio expectável para um determinado comprimento de furo (H) e d, o diâmetro de furação. Na fórmula esta representado que o aumento do diâmetro do furo faz aumentar o desvio, sendo que na prática, se verifica o contrário (Ramos., 2008).

3.2. Desvios de perfuração

Na análise da qualidade da execução da perfuração, é necessário acompanhar todo processo e monitorizá-lo, considerando a posição e a trajetória, que nos permite compreender os erros ou fatores de diferente natureza que podem estar na génese do tipo e amplitude do desvio.

O erro é diferente de desvio de perfuração, pois o primeiro está associado a fatores que se podem corrigir ou evitar, como os erros motivados por fatores mecânicos e de origem associado à manipulação de equipamentos. Normalmente associado a um erro está um desvio, enquanto o desvio sem origem num erro está normalmente relacionado a fatores que não se pode evitar como, por exemplo a anisotropia do maciço rochoso. Por isso, é fundamental conhecer o “peso” que cada um desses fatores (operadores, equipamentos e maciço) tem no desvio ocorrido. Os principais erros e desvios que podem ocorrer durante a perfuração (quadro 16) têm consequências diretas na geometria da pega o que se traduz num desmonte indesejado.

Quadro 16- Consequências dos desvios na geometria da pega e consequente desmonte.

Desvio /Erros	Consequências	
	Geometria da pega	Desmonte
Desvio para a frente livre da bancada	Diminuição distância a frente prática	Projeções parte frontal da bancada
Desvio para trás da face da bancada	Aumentar distância a frente prática	Criação áreas que não estarão sob efeito da energia dos explosivos daqueles furos
		Fragmentação inadequada e excesso vibrações
Desvios laterais	Modificam relação do espaçamento projetado	Fragmentação do material
Erros na inclinação	Modificar as relações de distância à frente	Perfuração inadequada do comprimento de furo
		Subfuração = maior vibração
		Furo não atinga profundidade planeada, surgem repés na frente

3.2.1. Tipos de desvios

Nos tipos de desvios motivados pelas condições em que se encontra a bancada (limpeza), equipamentos de perfuração e operador, reúnem certas condições de trabalho que se traduzem no resultado final nas causas e resultados já enunciados, nomeadamente interligadas a erros. Por outro lado, há desvios que se encontram associados à génese do próprio maciço rochoso, pelas suas características geológicas, geotécnicas e geomecânicas (quadro 17 e figura 21).

Quadro 17-Desvio associado a erros vs desvio associado a anisotropia do maciço.

Desvio associado a erros de execução da perfuração e/ou erros motivados pelas condicionantes da própria bancada (Limpeza da bancada)	Desvio associado a anisotropia do próprio maciço rochoso e suas características geológicas, geotécnicas e geomecânicas:
Posicionamento	Flexão - desvios progressivos, mas constantes ao longo do furo
Emboquilhamento	
Direção	Pontual- desvios pontuais da trajetória do furo
Inclinação	
Comprimento/Cota	

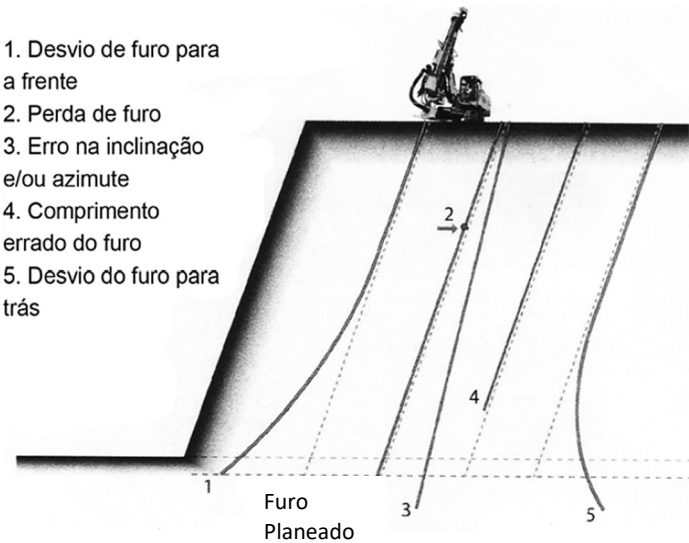


Figura 21- Desvios e erros na perfuração (adaptado Sandvick).

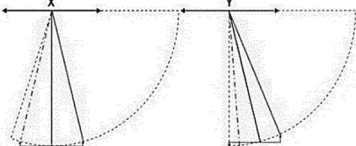
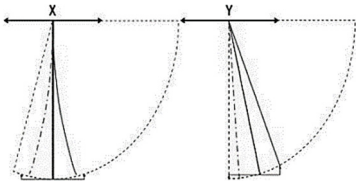
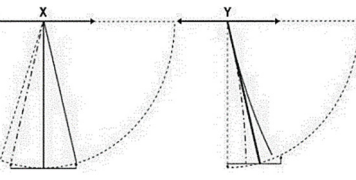
Na análise dos desvios de perfuração há que diferenciar duas dimensões, uma referente à direção (X) e outra à inclinação (Y), isto porque apresentam comportamentos diferentes essencialmente devido ao seu plano de interação com a anisotropia do maciço rochoso. Considerando os cinco tipos de erros de perfuração são apresentados a seguir os quadros descritivos (Ramos 2008) com a explicação das prováveis causas e propostas de correção ou minimização (Quadro 18).

Quadro 18- Cinco tipos de erros de perfuração, apontando as suas possíveis causas e propondo medidas de correção ou de minimização (adaptado Ramos,2008).

Erro	Descrição	Causas	Medidas corretivas ou de minimização
1) Posicionamento	Consiste em não iniciar o furo no ponto previamente.	Técnicas de marcação pouco eficazes, como a utilização de conjuntos de pedras encasteladas para a marcação dos furos, causando possíveis deslocamentos, devido à movimentação do carro de perfuração.	Utilização de spray para a marcação dos furos, no próprio maciço.
		A marcação da pega não respeita os parâmetros geométricos definidos (Espaçamento (E) e a distância à frente (V)).	Utilização de uma corda para o alinhamento das fiadas e uma fita para a marcação das distâncias. Implementação dos furos com sistema GPS.
2)Emboquilhamento	Zona entre a boca do furo e um comprimento de 1 a 2 m de vara introduzida no maciço (dependendo do estado da bancada), ao qual pode estar associado um erro relacionado com as condicionantes da mesma, como é o caso da regularidade e/ou do material solto na superfície.	Bancadas irregulares com zonas de difícil estabilização do carro de perfuração e coluna. Bancadas com elevada altura de material deixado nas bancadas para a tornar mais regular.	Limpar a bancada de forma a não ter material partido e /ou solto na sua superfície. Evitar os excessos ou défices de sub-furação
3)Direção	A direção do furo não está de acordo com o ângulo previamente definido.	Estes tipos de erros estão diretamente ligados com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe.	Avaliar os instrumentos de controlo e monitorização (equipamentos recentes). Deve-se ter bastante rigor no posicionamento do carro e da coluna, de forma a minimizar ao máximo os erros de direção e inclinação (equipamentos antigos).
4)Inclinação	A inclinação do furo não está de acordo com o ângulo previamente definido.		
5)Comprimento/Cota	O comprimento do furo e/ou a cota atingida pelo furo não está de acordo com o previamente definido.	Este tipo de erro está diretamente ligado com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe, assim como podem ser gerados pela influência de desvios de perfuração e/ou outros erros como a direção e/ou inclinação.	Este erro deixa de existir caso o equipamento de perfuração possua um sistema de controlo de cotas. Caso o equipamento possua dispositivo de controlo de comprimento do furo, deve-se ter em consideração o relevo da superfície da bancada para definir com rigor o comprimento com que cada furo deve se executado. Nestes casos, a utilização de uma corda esticada e nivelada poder facilitar a definição comprimento de cada furo.

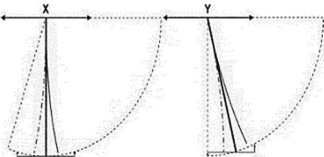
A representação gráfica dos desvios de perfuração a vários níveis de profundidade e da direção do emboquilhamento é crucial para a identificação do tipo de desvio e as suas motivações. Estudos já efetuados permitiram analisar a mancha de desvios, propondo uma projeção de todos os furos de uma determinada pega. Essa análise permite retirar algumas deduções acerca das causas que poderão estar na origem dos desvios, assim como uma análise individual de cada furo ajudará, a identificar o tipo de desvio. Com este tipo de análise torna-se simples a identificação e exclusão dos desvios respeitantes a erros de direção e inclinação da coluna (quadro 19).

Quadro 19-Tipo de desvios, descrição e suas causas devido a erros de direção e inclinação (Galiza et al.,2009).

Tipo de desvio	Descrição	Causa
	O furo apresenta desvio X e Y logo a partir dos primeiros metros, este desvio pode ser agravado, por flexão, à medida que o furo avança em profundidade.	O equipamento pode encontrar-se mal posicionado e/ou com emboquilhamento errado, ou seja, erros de inclinação e direção.
	O furo apresenta desvio Y logo a partir dos primeiros metros, este desvio é agravado, por flexão, à medida que o furo avança em profundidade. Em X o furo não apresenta desvios nos primeiros metros, só a partir de determinada profundidade.	Inclinação incorreta da coluna, mas direção correta.
	O furo apresenta desvio X logo a partir dos primeiros metros, este desvio é agravado, por flexão medida que o furo avança em profundidade. Em Y o furo não apresenta desvios nos primeiros metros, só a partir de determinada profundidade.	Situação contrária a anterior

Estes desvios normalmente não são equacionados porque nada têm a ver com a anisotropia do maciço, estando normalmente relacionados com a formação/experiência do manobrador, instrumentação do equipamento ou mesmo limpeza. No quadro 20, esta representando o tipo de desvio, sua descrição e causa associado a anisotropia do maciço.

Quadro 20-Tipo de desvios, descrição e suas causas devido a anisotropia do maciço (Galiza et al.,2009).

Tipo de desvio	Descrição	Causa
	O furo não apresenta desvio nos primeiros metros, verificando-se apenas desvio de flexão a partir de determinada profundidade. Tipo de furo considerado ideal inclinação e/ou direção	Equipamento encontra-se bem posicionado e a coluna com direção e inclinação corretas. Desvio apenas devido à anisotropia do maciço rochoso.

3.3. Parâmetros intervenientes na génese do tipo e amplitude dos desvios de perfuração

A execução da perfuração é influenciada por variados fatores, que permitem identificar algumas causas de desvios. Considerou-se, três grupos de parâmetros que intervêm no seu desvio, já referidos anteriormente (quadro 21).

Quadro 21-Parâmetros a analisar no estudo da qualidade da perfuração.

Parâmetros intervenientes no desvio de furação	
Maciço Rochoso	Parâmetros geológico-geotécnico das descontinuidades e do maciço rochoso
Ferramentas de Execução	Equipamentos de perfuração
	Método de perfuração
	Parâmetros de regulação
	Acessórios
Diagrama de fogo	Diâmetro do furo
	Comprimento do furo
	Inclinação do furo
Outros parâmetros	Operador
	Parâmetros de regulação
	Limpeza da Bancada

3.3.1. Parâmetros do Maciço Rochoso

As descontinuidades influenciam a trajetória do furo, direcionando esta trajetória perpendicularmente a direção das descontinuidades. O desvio será tanto maior quanto maior é a fracturação do maciço rochoso. A experiencia mostra que o ângulo (α) (figura 22) formado entre o bit e o plano da descontinuidade é importante no resultado da trajetória do furo, visto que ao praticar um ângulo α superior a 15° o furo tende a desviar-se perpendicularmente ao plano de descontinuidade. No caso de o furo ser executado verticalmente (0°) o desvio obtido por flexão será menor.

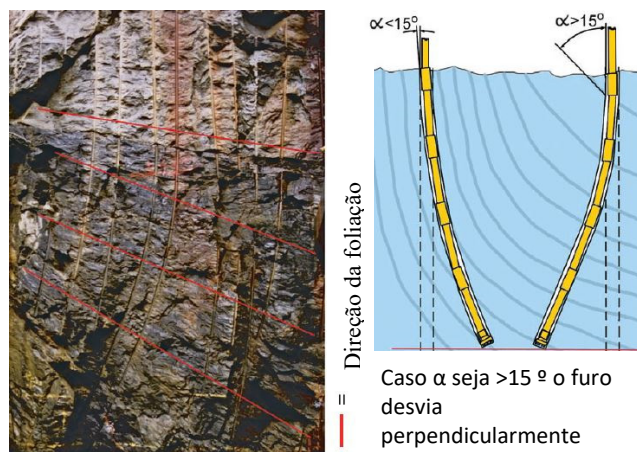


Figura 22-Influência da foliação e ângulo α na amplitude do desvio (adaptado Atlas Copco surface drilling 2012).

3.3.2. Ferramentas de execução

As ferramentas de execução têm bastante influência nos desvios de perfuração, pois estas apresentam características de configuração e dinâmica variada consoante o tipo de método dimensionado. Salienta-se assim que ferramentas diferentes apresentem desvios variados ao longo do furo. As ferramentas de execução, neste caso, são os equipamentos de perfuração (figura 23), sendo que as suas características mais relevantes e influentes são os acessórios: tipo e diâmetro de varas e bits, assim como o desgaste desta ferramenta de corte. No quadro 22 estão referenciadas as ferramentas de execução que foram utilizadas neste caso de estudo.

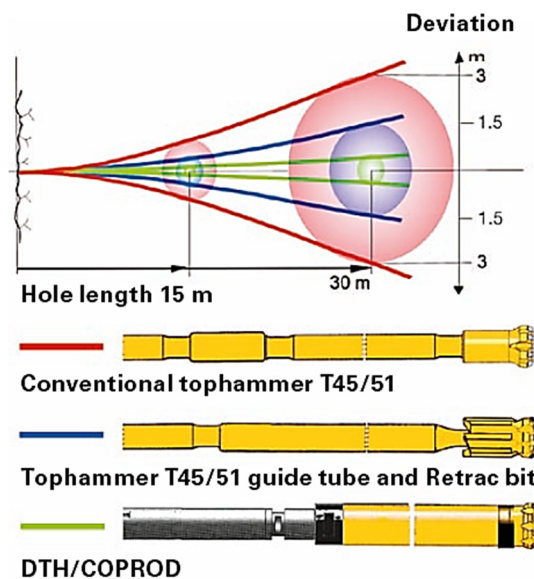


Figura 23- Influência dos diferentes tipos de equipamentos de perfuração nos desvios (Atlacopco,2008).

Quadro 22-Ferramentas de execução necessárias à perfuração.

Ferramentas de execução	
Equipamento de perfuração	Martelo hidráulico
Método de perfuração	Rotopercussão
	Martelo à cabeça
Acessórios de perfuração	Encabadouro
	Varas
	Bits
Parâmetros de regulação	Rotação
	Pressão
	Limpeza
	Avanço

Equipamento de perfuração

O carro de perfuração utilizado durante todas as pegas foi o Roc D7 da Atlascopco (Figura 24).



Figura 24- Carro de perfuração Atlas Copco Roc D7.

O equipamento de perfuração pode ser dividido em pontos de avaliação para uma análise mais fácil e rápida dos sistemas e acessórios que este equipamento dispõe. (Quadro 23).

Quadro 23-Matriz de avaliação equipamento de perfuração (adaptado Ramos,2008).

Equipamentos de Perfuração					
Carro de perfuração	Devido à diversidade de equipamentos de perfuração, é importante registar sempre o modelo e o martelo correspondente.	Modelo	Atlas Copco D7		
		Martelo de superfície	Cop 1840HE		
Sistema de controlo e monitorização	Uso correto dos sistemas de monitorização do equipamento de perfuração terá influência na qualidade e alinhamento do furo	Direção	Não possui	x	
			Pouco fiável		
			Fiável		
			Muito fiável		
		Inclinação	Não possui	x	
			Pouco fiável		
			Fiável		
			Muito fiável		
		Comprimento	Sim		
		Profundidade	Não	x	
Sim					
Coluna	É avaliada segundo a sua rigidez e o número de apoios das varas. O número de apoios das varas permite avaliar o equipamento do ponto de vista da sua estabilidade (quanto mais apoios tiver a vara, maior é a estabilidade e precisão da perfuração)	Rigidez	Ferro		
			Aço	x	
		Apoio	Insuficiente (1)		
			Suficiente (2)	x	
			Bom (3)		

Métodos de perfuração

A seleção do método de perfuração é influenciada pelas características e condicionalismos do maciço rochoso e do dimensionamento da perfuração a executar, sendo fundamental no seu resultado final. A seleção do método deverá assentar nos seguintes aspetos técnicos tal como esta apresentado na figura 25.

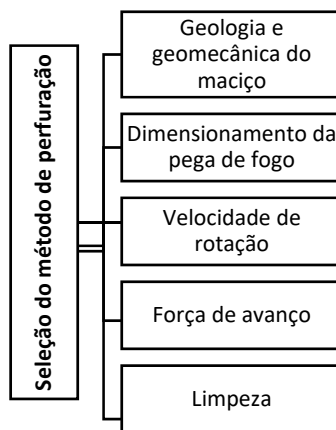


Figura 25-Aspetos técnicos a ter em conta na seleção do método de

Os principais métodos de perfuração em bancada (Figura 26), são a perfuração rotativa e o método rotopercutivo: martelo de superfície (“Top-Hammer”) ou martelo de fundo furo (“Down the hole”). O método rotopercutivo com martelo de superfície representa grande parte dos equipamentos de perfuração em bancada existente no nosso país, muito particularmente na zona norte, devido às suas características geológicas (Fonseca,2008).

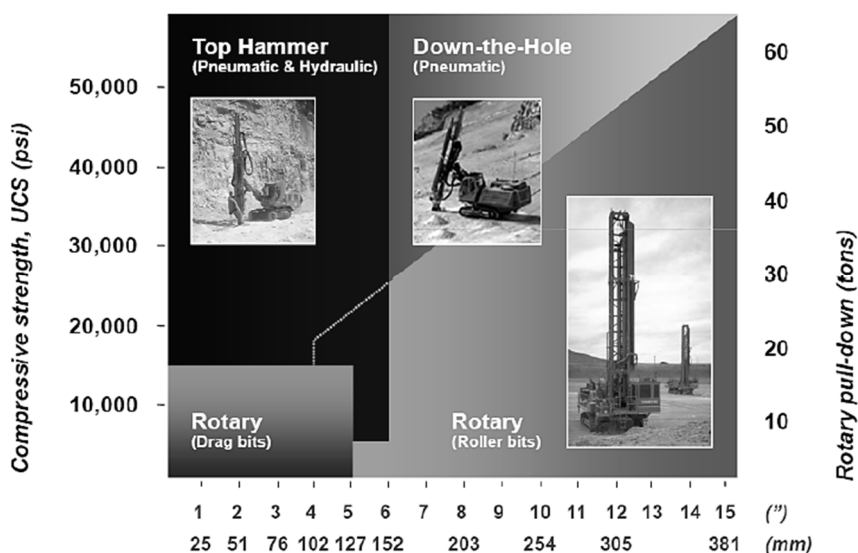


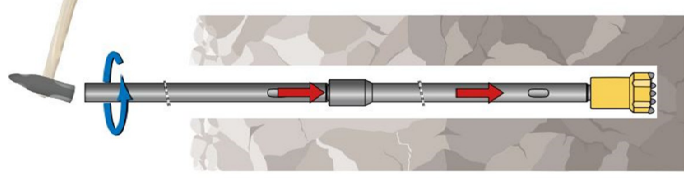
Figura 26- Condicionantes na escolha dos métodos de perfuração (adaptado Lima,2014).

No quadro 24 esta citado todos os métodos de perfuração existentes e os princípios correspondentes a cada um destes métodos.

Martelo de Superfície Tophammer

A percussão e a rotação são desenvolvidas no martelo que se encontra no exterior do furo. A energia é transmitida através das varas e outras ferramentas ao bit no fundo do furo.

Este método tem uma grande aplicação até ao diâmetro 89mm. A perda na transmissão da energia por acoplamento é bastante significativa neste tipo de perfuração podendo representar 4 a 6% em cada união,



atingindo mesmo os 10% na primeira união. As perdas de energia podem ser muito superiores quando o acoplamento entre os acessórios não é perfeito.

No entanto, a versatilidade dos equipamentos faz com que seja um dos métodos mais utilizados na perfuração de rocha, seja em trabalhos mineiros ou de construção (Manual de explosivos – AP3E, 2011).

COPROD System

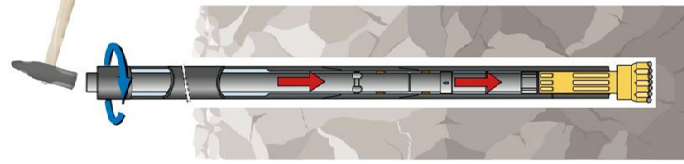
O sistema Coprod combina a velocidade de perfuração tophammer com a precisão e a longa vida útil do método tophammer.

A inovação está no facto que as diferentes secções estão ligadas através de tubos que transmitem apenas rotação e assim a tensão nas roscas é mínima e a sua vida útil muito longa.

Todos os efeitos negativos da transmissão da energia do impacto através de roscas são totalmente eliminados.

O resultado é uma alta potência de impacto com o mínimo de desgaste.

A experiência prática com COPROD tem sido excepcionalmente positiva, para diâmetros de 90-165mm. O método fornece uma boa economia global, especialmente em perfuração de produção em grande escala e quando a perfuração em rocha fissurada ou caso contrário exigentes condições.



Martelo de Fundo de Furo Down-The-Hole

A perfuração rotativa é conseguida através do efeito conjunto de duas ações, corte e esmagamento resultantes da pressão do bit sobre rocha e na rotação das varas e dos cones do bit.

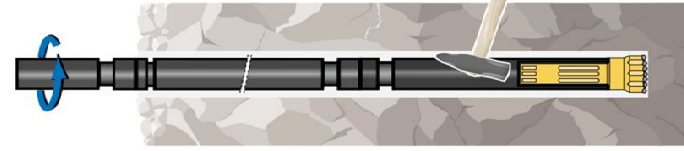
Os equipamentos utilizados são de grande porte e com um torque e potência elevada na unidade de rotação.

A rotação imposta, bem como uma elevada força de compressão do bit sobre a rocha, provoca o corte.

Este tipo de perfuração tem uma aplicação bastante reduzida no

desmonte de rocha em Portugal, sendo atualmente utilizado em captações de água, furos piloto para “raise borer”, prospeção petrolífera, entre outros.

Os diâmetros de perfuração variam entre 50 e 444mm, no entanto a faixa compreendida entre 152 a 311mm são mais frequentes em explorações mineiras a céu aberto com elevadas necessidades de produção.



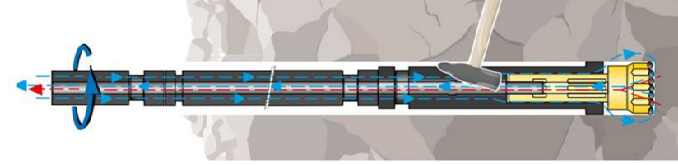
Circulação Inversa Reverse Circulation

É um método utilizado para a recolha de amostras de rocha para a superfície para análise posterior, para diâmetros de 125-165 mm.

É constituído por um duplo tubo, em que é injetado ar pressurizado e por sua vez a amostragem de rocha passa pelo bit através do centro da coluna até à superfície.

Normalmente o ar passa através de um filtro de modo a que o material rochoso e o pó sejam capturados num amostrador. Estas amostras podem ser recolhidas depois em sacos.

O método de circulação inversa é utilizado para a exploração mineral como alternativa para “diamond core drilling”. Foram desenvolvidos martelos especiais para circulação inversa para melhorar a produtividade e também reduzir o grau de contaminação da amostra.



Perfuração Rotativa Rotary Drilling

A perfuração rotativa é conseguida por efeito conjunto de duas ações, de corte e esmagamento, resultantes da pressão do bit sobre a rocha e da rotação das varas e dos cones do bit.

As máquinas utilizadas são equipamentos de grande porte e com um torque e potências elevadas na unidade de rotação.

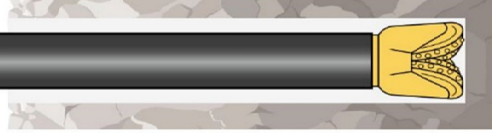
Este método tem aplicação bastante diminuta no desmonte de rochas no nosso país.

Tornou-se bastante popular na perfuração de rochas brandas e em bancadas



altas (minas de carvão), tendo vindo posteriormente a ser aplicado nas mais variadas situações: prospeção petrolífera, captações de água, furos piloto para raise borer, entre outros.

Os diâmetros das brocas variam entre 50 a 444mm, sendo a faixa de aplicação mais frequente em minas a céu aberto de 152 a 311mm. Os diâmetros superiores estão limitados a minas com elevada produção



Método rotopercutivo: martelo de superfície (Top-hammer)

Este tipo de perfuração assenta nos conceitos de rotação e percussão (Figura 27), sendo o sistema clássico por excelência para perfuração para desmonte de rocha. Este método foi descoberto no século XIX, utilizando a energia fornecida por uma máquina a vapor de Singer (1838) e Couch (1848), no entanto, foi durante a construção do túnel do Monte Cenís, que permitiu que a evolução do sistema, passando a ser utilizado de forma mais intensa (Jimeno, 1994).

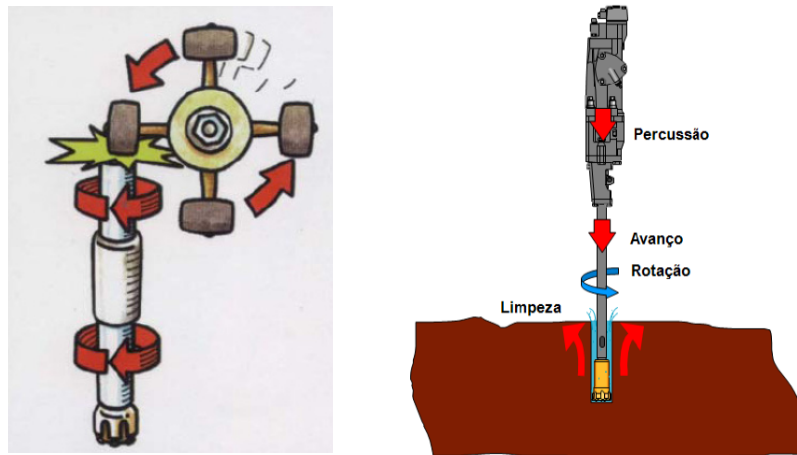


Figura 27- a) Ilustração método rotopercutivo, b) martelo de superfície (Tophammer) (adaptado Ramos,2008).

Nos últimos 20 anos, os martelos pneumáticos foram substituídos por equipamentos hidráulicos, embora tenham um maior custo de aquisição, este é compensado por um menor custo operacional e maior produtividade.

A perfuração rotopercutiva assenta na combinação de quatro parâmetros (figura 28).



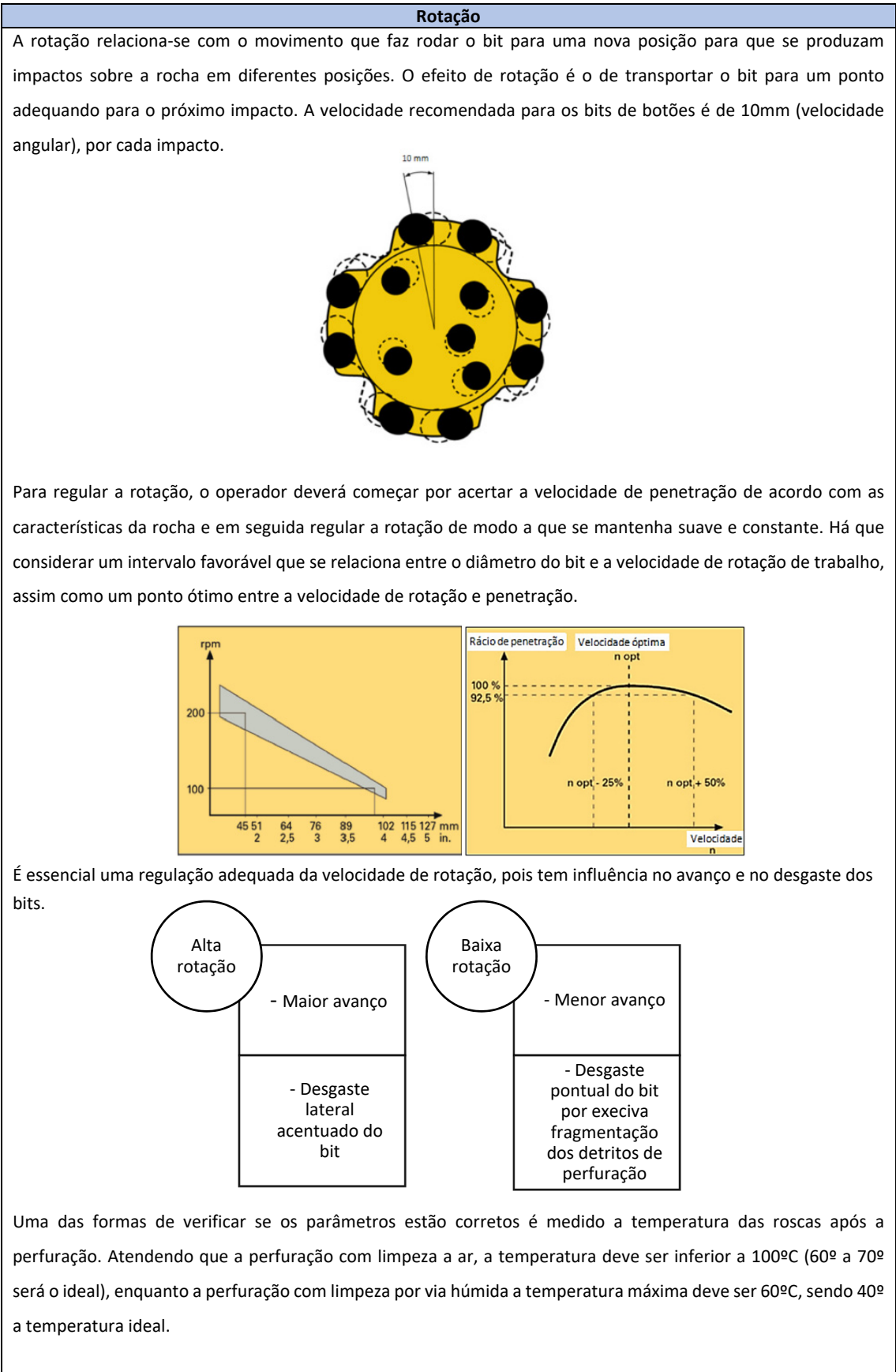
Figura 28-Parâmetros intervenientes na perfuração rotopercutiva.

No Quadro 25, 26, 27 e 28 estão descritos os quatro parâmetros intervenientes na perfuração rotopercutiva.

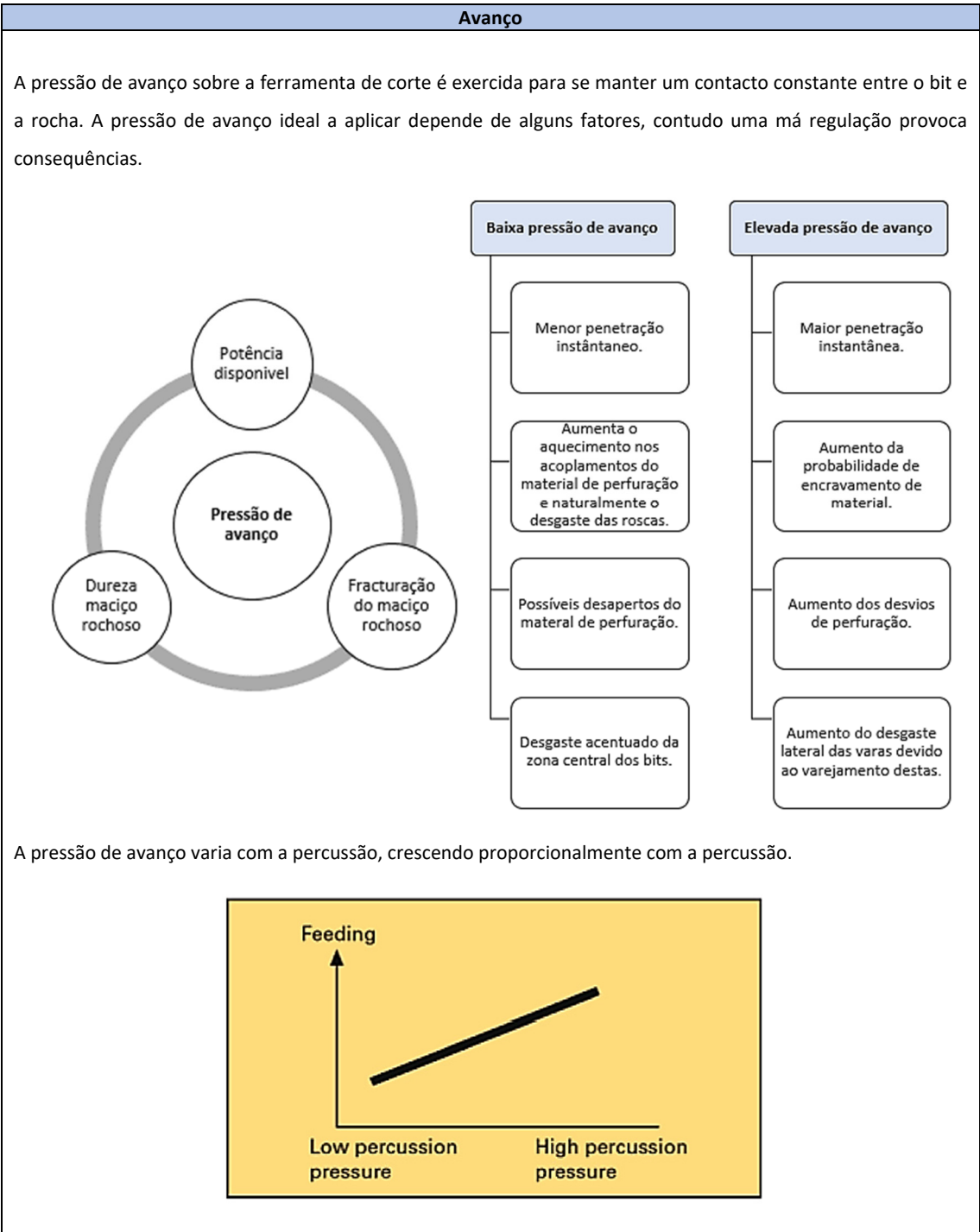
Quadro 25- Percussão- parâmetro interveniente na perfuração rotopercutiva (Atlascopco,2008).

Percussão
<p>A percussão é devido à potência de impacto do martelo e relaciona-se com a frequência de impacto e com a energia de impacto, da seguinte forma:</p> <p>Potência de impacto = Frequência * Energia de impacto</p> <p>Estando a energia de impacto relacionado com a pressão de energia utilizada e a massa do pistão. Normalmente, existe uma relação direta entre a velocidade de penetração instantânea na rocha e a percussão. Para que a energia seja bem aproveitada, é necessário que o bit esteja bem apoiado na rocha. Caso tal não aconteça, a energia não pode deixar os acessórios de perfuração e ao chegar à extremidade do bit inverte a direção através das varas, só que em vez de uma tensão de compressão converte-se numa tensão de tração. Como o aço resiste pior à tração do que à compressão, esta tensão criada pode tornar-se perigosa para a vida útil dos acessórios de perfuração. A onda de choque é transmitida pelas varas à velocidade de 5200m/s.</p> <div data-bbox="272 819 1299 1115"> </div> <p>Antes e depois da percussão, a força contida no aço de perfuração é apenas a força de avanço da ordem de 500 a 1500 kg dependendo da natureza da rocha. Apenas quando a onda de choque chega ao bit é que obtemos a força máxima aplicada pelo pistão do martelo. A passagem da onda de choque pelo aço, submete-o a compressão provocando uma pequena diminuição do comprimento. Quando a onda de choque deixa o bit, o aço volta ao seu comprimento original, tornando-se mais comprido do que quando a onda de choque se encontrava no interior do aço, sendo nesta fase que se dá a penetração do bit na rocha.</p> <div data-bbox="292 1411 1311 1697"> </div> <p>A penetração termina quando a força do bit iguala a resistência da rocha. Em rochas brandas, a energia de percussão deve reduzir-se para evitar que o excesso de energia, ao refletir-se cause tensões de tração que danifiquem prematuramente as varas. A energia de percussão deve ainda ser adaptada ao diâmetro das varas e do adaptador. Utilizando a mesma energia de percussão, quanto menor é o diâmetro da vara, maior será o “stress” no aço.</p>

Quadro 26- Rotação- parâmetro interveniente na perfuração rotopercutiva (Atlascopco,2008).



Quadro 27- Avanço- parâmetro interveniente na perfuração rotopercutiva (Atlascopco,2006).




Quadro 28-Limpeza- parâmetro interveniente na perfuração rotopercutiva (Atlascopco,2007-2008).

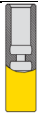




Fluido de Limpeza
O fluido de limpeza permite extrair os detritos de perfuração do fundo do furo, assegurando uma boa limpeza entre a superfície de contacto entre a ferramenta de corte e o maciço rochoso. O fluido de limpeza (ar ou água) é injetado sob pressão pelo interior do material de perfuração. A evacuação do material removido da rocha é conduzida entre a parede do furo e a parede exterior das varas de perfuração. A limpeza com ar pressupõe a existência de um sistema e captação de detritos e poeiras no exterior do furo. A limpeza é influenciada por fatores, caso esta seja insuficiente promove a diminuição da velocidade de penetração, aumenta o desgaste dos bits e a possibilidade de encravamento do material de perfuração.
Densidade das partículas – quanto maior a densidade das partículas maior deverá ser a velocidade do fluido de limpeza;
Forma das partículas – quanto mais equiláteras forem as partículas, maior deverá ser a velocidade do fluido.
Tamanho das partículas – quanto maiores forem as partículas resultantes da quebra da rocha, maior deverá ser a velocidade do fluido de limpeza;
Velocidade de penetração - quanto maior for esta velocidade , maior será a quantidade de detritos na unidade de tempo;
Comprimento de varas - quanto maior o comprimento das varas , maior caudal do fluido de limpeza necessário;
Diâmetro do furo - adequar o caudal e a pressão do fluido de limpeza;

Acessórios de perfuração

Os acessórios de perfuração (quadro 29) permitem a transmissão de energia provenientes do martelo até à rocha, provocando a sua fragmentação e por consequência a sua perfuração. Assim, a otimização técnica e o bom desempenho da perfuração, passa inevitavelmente pelo desempenho dos acessórios de perfuração, e desta forma, a interação do equipamento com o maciço rochoso requer uma seleção e utilização adequadas.

Quadro 29- Acessórios de perfuração.

Acessórios de perfuração	Descrição	Ilustração
Encabadouros	Os encabadouros são responsáveis pela transmissão da energia às varas, recebendo-a diretamente do pistão. A sua configuração é importante pois para uma boa transmissão é necessário existir uma configuração geométrica semelhante entre o pistão e o encabadouro. Existem diferentes tipos de encabadouros baseados na técnica de transmissão da energia do motor de rotação à vara. O fluido de limpeza circula de dois modos diferentes nos encabadouros podendo ser central – fluido circula longitudinalmente de topo a topo através de um furo central que existe a todo o comprimento do encabadouro; ou lateral – a entrada do fluido de limpeza situa-se entre as estrias e a zona da rosca	

Unões	<p>Ligam as varas entre si, com força suficiente para assegurar que os topos se tocam, garantindo uma boa transmissão de energia. São utilizadas sem rosca na zona central o com freio central para evitar a tendência para enroscamentos excessivos de uma vara.</p> <p>As uniões caíram quase em desuso, pois o duplo acoplamento aumenta a perda de energia e o varejamento do conjunto dos acessórios. As uniões são igualmente um elemento que tornava o processo de perfuração mais lento, sendo na atualidade obsoletas.</p>	 
Varas	<p>A transmissão de energia (percutida e/ou rotativa) é efetuada do encabadouro ao bit através das varas. Estas podem dividir-se em vários tipos, dependendo do método de perfuração executado do tipo de perfuração, tais como: a) barrenas, destinadas a perfuração curta e trabalhos bastante específicos, como por exemplo na perfuração para a extração de rocha ornamental; b) vara propriamente ditas (extensões), dividindo-se em varas “standard”) e varas guias. A eficiência na utilização deste acessório de perfuração está relacionada com a sua adequação a tipo de trabalho a executar e com a metodologia de trabalho aplicada que poderá otimizar o seu desempenho.</p>	
Bits	<p>O bit é a parte do material de perfuração que, estando em contacto com a rocha, vai promover a fragmentação desta. Conforme o tipo de perfuração a utilizar, assim se deve adequar o tipo de bit a utilizar. Na perfuração rotopercutiva os bits podem ser de botões ou pastilhas.</p> <p>Seleção deste acessório pode compromete toda a eficiência do resultado final da perfuração em termos técnico-económicos;</p>	 

3.3.3. Geometria o diagrama de fogo

Na figura 29 são apresentados os parâmetros da geometria do diagrama de fogo, sendo que apenas o diâmetro do furo, o comprimento do furo e a inclinação do furo têm influência na génese dos desvios de perfuração. Também se considera a orientação da bancada como um parâmetro geométrico a ter em conta devido à importância que assume na leitura dos desvios.

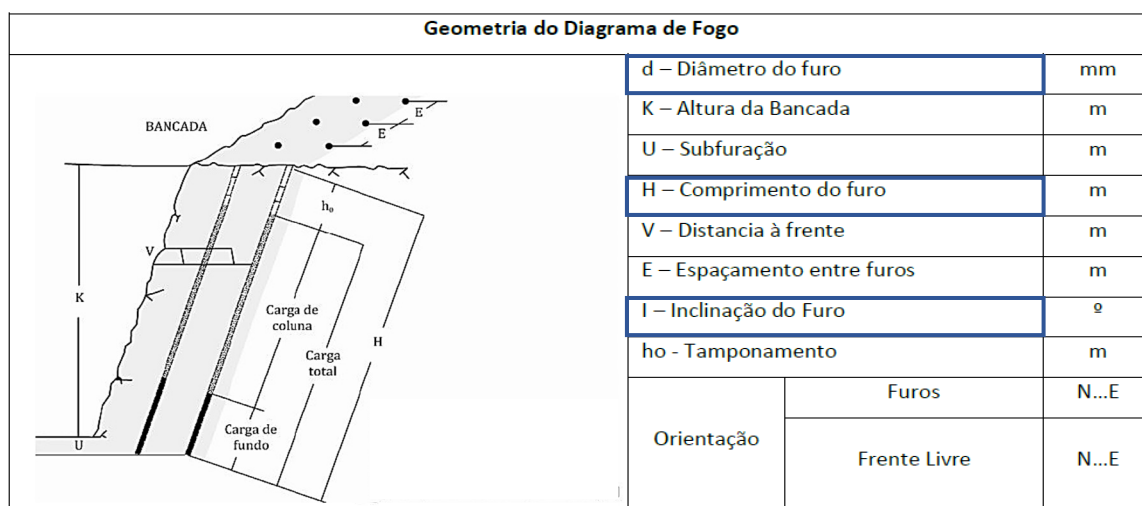


Figura 29- Parâmetros do Diagrama de fogo (adaptado Manual do Operador de Produtos Explosivos, AP3E e ANIET, 2011).

Diâmetro do furo

O diâmetro do furo é um fator importante a considerar na concepção do diagrama influenciando significativamente os desvios da perfuração. Nesse sentido e com objetivo de compensação dos desvios são aplicados fatores corretivos. Segundo o critério mais utilizado e já abordado (Langefors & Kihlstrom, 1978), o valor de $F = (d/1000) + 0,3 \times H$, é de ajustar o primeiro resultado obtido na distância a frente ($V_{máx.}$). Este valor é ajustado em cerca de uma redução equivalente a 3% da profundidade do furo, acrescido do valor do diâmetro, e assim quanto maior o diâmetro da perfuração menor será o valor da distância à frente.

Comprimento do furo

O comprimento do furo é um dos parâmetros da geometria do diagrama de fogo que mais poderá influenciar os desvios de perfuração, principalmente quando se ultrapassa uma certa profundidade. Isto deve-se, essencialmente porque à medida que o furo avança, o ponto de emissão de energia (martelo à cabeça) (figura 30), está cada vez mais afastado do ponto de atuação de energia (maciço rochoso), havendo maior comprimento de varas entre esses dois pontos, levando a existir maior suscetibilidade à flexão das varas, logo, a possibilidade de ocorrerem maiores desvios de perfuração.

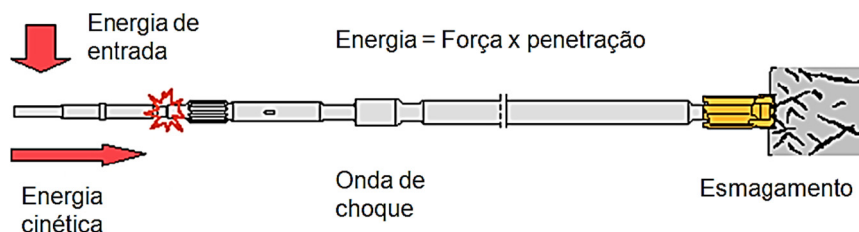


Figura 30- Esquema de transmissão de energia através dos acessórios.

Inclinação do furo

A inclinação do furo tem grande influência, principalmente no desvio frontal (Y), embora apareçam sempre desvios laterais (X). É importante avaliar a intersecção ao nível do ângulo de intersecção, no plano perpendicular à frente livre, entre o furo e os elementos de descontinuidades que atravessam o maciço rochoso. O ângulo de posicionamento do bit em relação ao maciço rochoso, desde a superfície, às condições de operação, aos equipamentos e ao operador, passando pelo momento de atravessamento das descontinuidades e das anisotropias existentes já no interior do maciço, obriga a uma análise ao longo de todo o furo para melhor compreender o comportamento da perfuração.

3.4. Outros parâmetros para avaliação

Existem outros parâmetros importantes de avaliar no estudo dos desvios de perfuração. No quadro 30 pode ver-se os parâmetros em questão, assim como as respetivas matrizes de classificação propostas por Ramos, 2008.

Quadro 30- Matriz de avaliação do operador e parâmetros de regulação, (adaptado Ramos,2008).

Operador	Experiência	Muita	1	X
		Pouca	2	
		Alguma	3	
	Sensibilidade	Muita	2	
		Pouca	3	
		Alguma	4	X
	Conhecimento	Muita	3	
		Pouca	4	
		Alguma	5	X
Parâmetros de regulação		Rotação (bar)		
		Pressão (bar)		
		Limpeza (bar)		
		Avanço (bar)		
Limpeza da bancada (Emboquilhamento)	Na Rocha		0	
	Pouco Material desagregado		<0,25	
	Algum Material desagregado		0,25-0,5	
	Muito Material desagregado		>0,5	

Segundo Ramos (2008), a avaliação do operador foca-se em três vertentes, a experiencia como manobrador, a sensibilidade para o fenómeno de perfuração (binómio ferramentas/maciço) e nível de conhecimento geral na área de perfuração. É fundamental um contínuo investimento em formação, garantindo assim uma otimização geral de todo o processo. O parâmetro de regulação que poderá influenciar mais o desvio é o avanço, embora a limpeza do furo é imprescindível para uma furação alinhada. Pretende-se que a bancada se encontre o mais limpa possível não apresentado material solto na superfície com objetivo de obter um bom emboquilhamento do bit na rocha (quadro 31). Sabendo que o emboquilhamento potencia o desvio de perfuração, optou-se por avaliar este parâmetro em função da profundidade a que o furo é emboquilhado.

Quadro 31-Aspetos práticos a ter em conta nas bancadas (adaptado Ramos,2008).

Bancadas Limpas	
Desvantagens	Vantagens
Necessidade de maior atenção na movimentação do equipamento	Possibilidade de realização do emboquilhamento diretamente no maciço;
Como consequência do ponto anterior, há aumento de tempo de movimentação do equipamento entre furos.	Potencia uma qualidade superior na perfuração, os fatores que intervêm são menos, na superfície resumem-se a eficácia do equipamento e do operador
Maior probabilidade de ocorrência de erros de cota na profundidade	Redução do tempo do ciclo total de execução do furo

3.5. Medição dos Desvios

Para a execução da medição dos desvios resultantes da perfuração é utilizado um equipamento, o Boretrak (figura 31), que permite o levantamento contínuo da trajetória do furo com a consequente tradução das determinadas leituras. A medição é realizada a partir da sonda de aço inoxidável e alumínio. As varas são constituídas por fibra de vidro. O peso total do equipamento de 30m de varas é de 11,5 Kg.



Figura 31-Equipamento Boretrak (varas, sensor, recetor sinal).

O Boretrak é constituído por:

- Uma sonda com dois inclinómetros perpendiculares, eixos medidos (Pitch & Roll);
- Um conjunto de varas articuladas com 1m de comprimento, cada e respetivo suporte;
- Um dispositivo de controlo (Notebook e bateria eletrónica);
- Software compatível para pc.

As leituras que são traduzidas no decorrer da ação desenvolvida pelo Boretrak, na monitorização continuam da trajetória do furo são as seguintes:

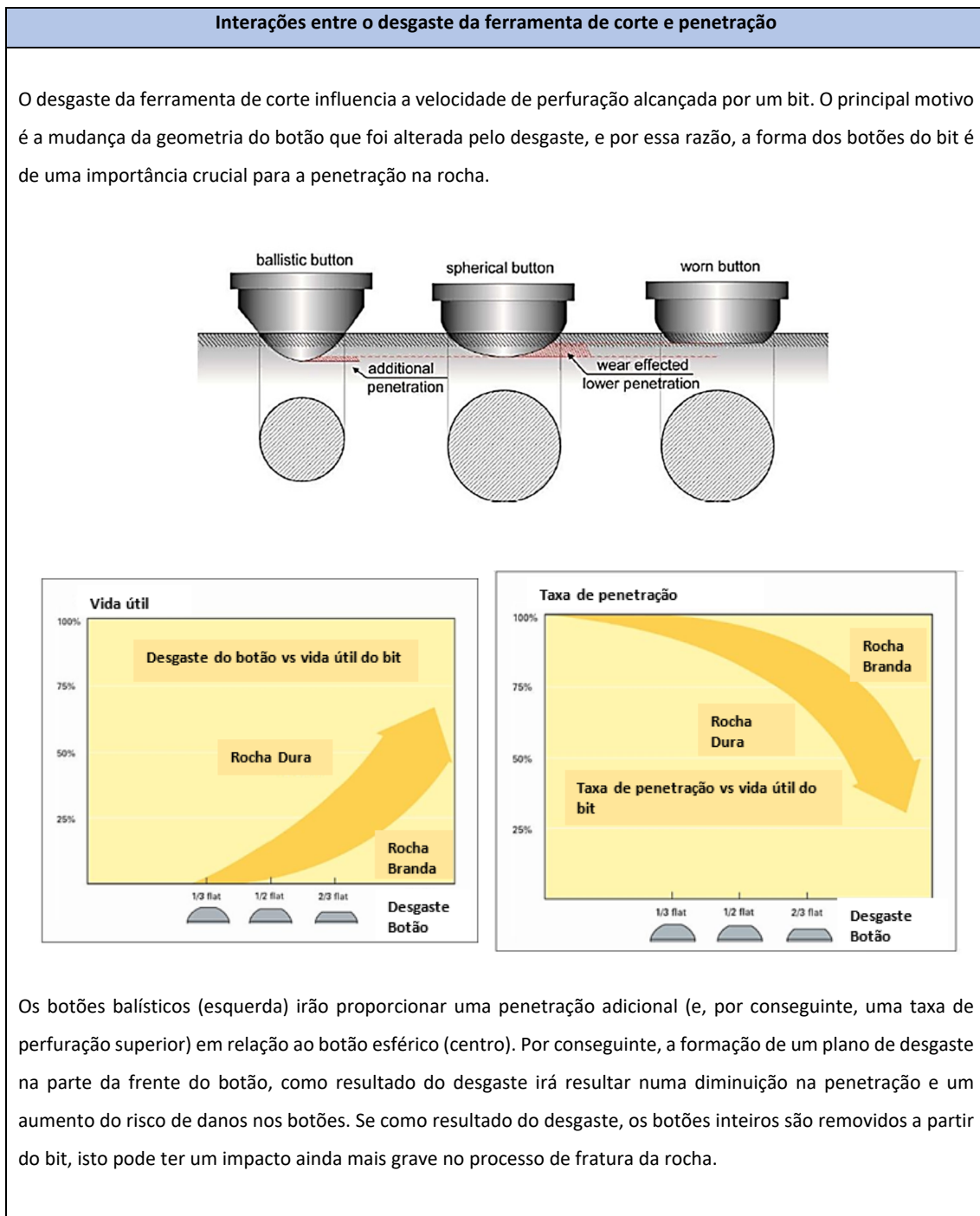
- Desvios laterais (X) onde é lido o ângulo real perpendicular à frente de desmonte (Norte/Sul);
- Desvios frontais (Y) onde é lido o ângulo real medido paralelamente à frente de desmonte Este/Oeste);
- Permite também saber a profundidade real de cada furo.

3.6. Desgaste das ferramentas de perfuração

O desgaste das ferramentas de corte na perfuração de maciços rochosos pode ser definido como um processo contínuo de perda de material a partir da superfície dos botões, devido ao contacto mecânico e o movimento relativo dos botões sobre a superfície da rocha na qual é determinado pelas propriedades do tipo de material da ferramenta de corte, do maciço rochoso e as interações sobre as superfícies de contato.

Na perfuração o conhecimento do desgaste do aço de perfuração permite-nos estimar as melhores opções e analisar a sua relação com os desvios nesta operação. Esta análise só é possível, quando se compila dados e se pode tornar esses dados trabalháveis em base de dados/aplicações informáticas. Para toda a coluna de aço é importante determinar o desgaste provocado pela perfuração, sendo que a ferramenta que mais “sofre” com as diferenças da rocha, será os bits (quadro 32).

Quadro 32-Interações entre o desgaste da ferramenta de corte e penetração.



A estrutura complexa do sistema de interação, estabelecido entre a ferramenta de corte e a rocha leva a uma grande quantidade de fatores que podem influenciar o desgaste da ferramenta (figura 32).



Figura 32- Fatores que influenciam o desgaste da ferramenta de corte (adaptado Plinninger,2002).

3.7. Bits de perfuração

Todos os acessórios de perfuração merecem uma criteriosa seleção na sua escolha, no entanto, os bits (figura 33) merecem um particular destaque, pois é a ferramenta responsável pelo corte do maciço rochoso.



Figura 33-a) Bit de botão vs b) Bit de Pastilhas.

Tem havido um progresso tecnológico substancial no desenvolvimento desta ferramenta, assistindo-se as constantes atualizações deste produto no mercado. Estas evoluções devem ser seguidas atentamente pelos consumidores finais atendendo à melhoria das performances normalmente associadas a essas evoluções. Sobre o ponto de vista do desempenho, os parâmetros que influenciam o desempenho do bit são hierarquizáveis desta forma (Figura 34), pressupondo uma relação de qualidade na variação dos três parâmetros (velocidade, tempo de vida útil e preço de aquisição) (Lima,2014).

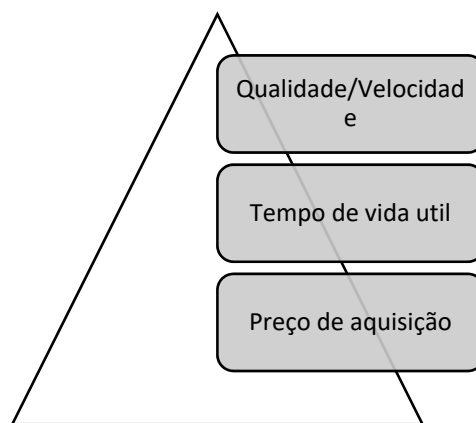











Figura 34-Parâmetros a ter em conta na aquisição do bit.

Estes parâmetros relativos ao desempenho dos bits estão intimamente correlacionados com três grandes grupos:

- Desenho do bit de perfuração;
- Tipo de liga metálica da matriz do bit de perfuração;
- Tipo de liga metálica dos botões do bit de perfuração.

Para uma análise sustentada da performance dos bits e assim puder tirar conclusões sobre as melhores opções em cada perfuração, o bit de perfuração foi subdividido nos vários elementos que os constituem, apresentados no Quadro 33.

Quadro 33- Quadro síntese das características do bit de perfuração (adaptado Galiza, 2013).

Síntese das Características de um Bit de Perfuração			
Corpo	A avaliação do corpo do bit permite avaliar a capacidade que este apresenta ao desgaste e assim prever a sua vida útil em determinado maciço. A sua configuração está profundamente relacionada com a qualidade de perfuração. No mercado, o corpo do bit é apresentando das seguintes formas: “standard”, “retrac” e guia. O corpo do bit é ainda classificado quanto ao número, diâmetro e posicionamento (lateral ou central).		Standart
			Retrac
			Guia
Cabeça	O desenho da cabeça do bit é concebido para uma interação de Perfurabilidade com as características do maciço rochoso. Os bits com face côncava e rebaixados visam diminuir os desvios por consequência do deslizamento deste com as superfícies de descontinuidade do maciço.		Face Plana
			Face Côncava
			Face Côncava e Rebaixada
Botões	O desempenho do botão deve ser avaliado quanto à resistência ao desgaste da liga de carboneto de tungsténio e quanto à velocidade de penetração obtida. Os botões dos bits devem ser estudados quanto à forma (esférico, Semi-balístico e balístico), diâmetro e ângulo de contacto com o maciço.		Esférico
			Semi-balístico
			Balístico

Os bits de perfuração são constituídos por duas ligas que se podem distinguir, uma no corpo do bit, liga em aço, e outra em carboneto de tungsténio, os botões do bit. O carboneto de tungsténio cimentado na cabeça do bit compreende uma gama de materiais compostos de partículas duras de carboneto ligadas por um ligante metálico. O diâmetro do bit está diretamente relacionado com a velocidade de penetração, assim como influência diretamente a escolha de todos os outros acessórios de perfuração. O desempenho do bit de perfuração está relacionado com o tamanho e configuração dos botões na cabeça do bit, bem como o seu ângulo de contacto na rocha. O seu maior ou menor diâmetro está relacionado com as características do maciço tendo influência na velocidade de perfuração conseguida e nos intervalos de afiação de cada botão, ou seja, na sua vida útil (Lima,2014).





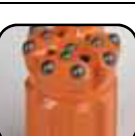
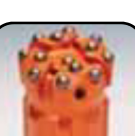
Bit de botões

Têm botões nos pontos de contacto com a rocha constituídos por carboneto de tungsténio. São os bits mais utilizados atualmente (quadro 34), pois permitem trabalhar com maiores pressões de avanço, rotação e percussão, comportando-se melhor ao desgaste que os de pastilhas.

Os botões possuem 3 configurações:

- Perfil esférico;
- Perfil semi-balísticos;
- Perfil balístico.

Quadro 34-Tipos de bits de botões (adaptado manual de desmonte Galiza et al.).

Tipos de bits de botões	
	Standard – Bit aconselhável para rochas de dureza média e dura. São fáceis de afiar e normalmente têm todos os botões com o mesmo diâmetro.
	Heavy duty – Utilizado em rochas duras com quartzo e pirites e em que o desgaste dos botões periféricos é geralmente grande. Normalmente os botões periféricos são de maior diâmetro que os botões frontais.
	Extra heavy duty – Recomendado para rochas extremamente abrasivas. Possuem boa limpeza por terem melhor ângulo de saída e cabeça mais curta.
	Drop centre – Excelentes resultados em rochas brandas e de dureza média. O desenho da frente do bit possibilita uma limpeza fácil com o mínimo de desgaste de aço. A forma de montagem dos botões dá excelentes resultados no alinhamento do furo.
	Drop centre heavy duty – Possuem os botões periféricos com maior diâmetro que os botões centrais, não têm furos de limpeza laterais e tem a cabeça mais curta. Recomendados para rochas extremamente abrasivas também podem ser utilizados em rochas brandas.
	Retrac – Usa-se em formações rochosas em que as paredes do furo têm tendência para o colapso. A configuração do bit e a inclusão de plaquetas de carboneto de tungsténio na parte posterior do bit permitem o corte da rocha durante a extração, evitam-se encravamentos e perdas dos acessórios de perfuração.

Na figura 35, podemos observar as principais características e campos de aplicação das diferentes configurações de botões.

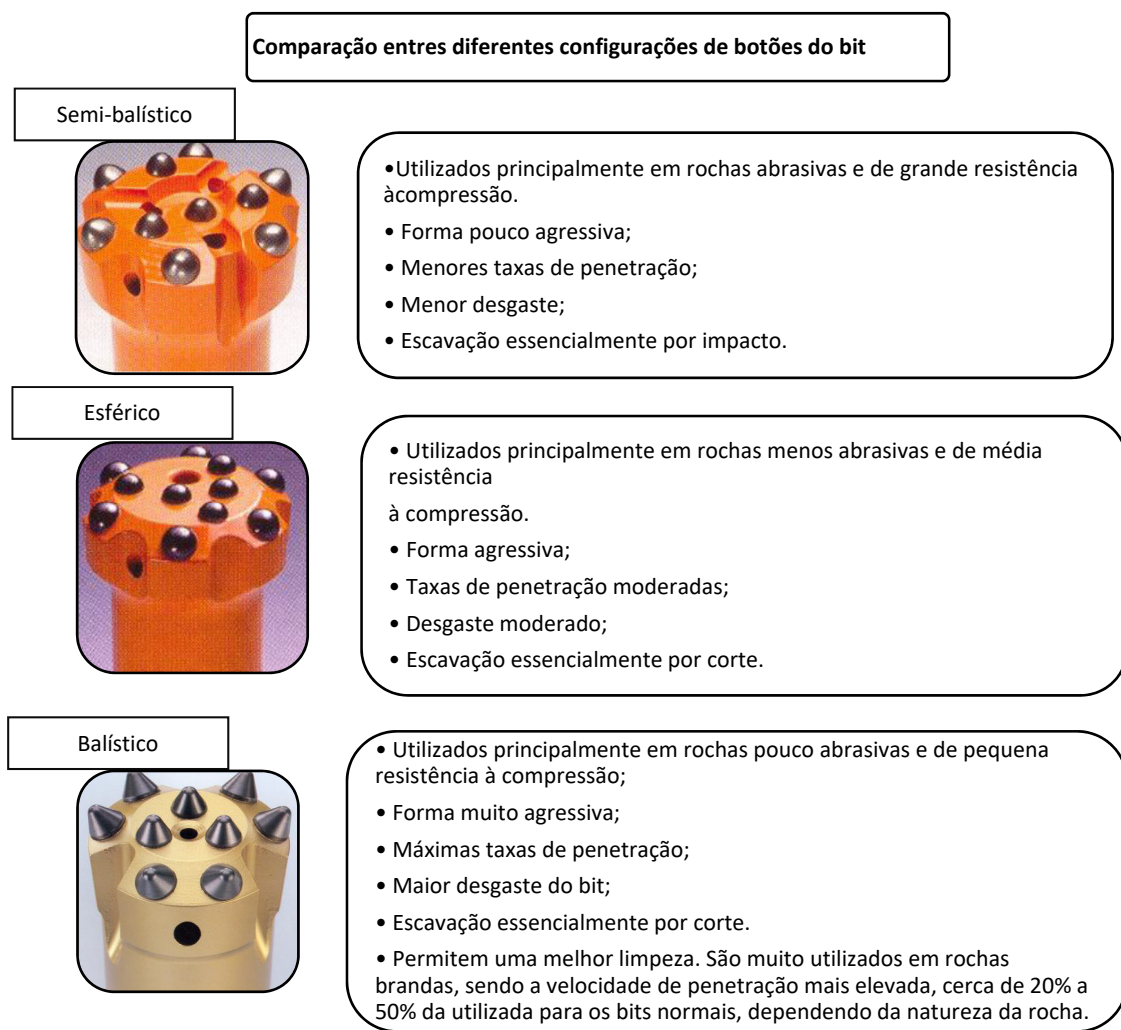


Figura 35- Características entre diferentes configurações dos bits de botões (adaptado de Manual de Desmonte de Maciços Rochosos I, ISEP 2007/2008).

3.8. Afiação dos bits de perfuração

Uma vez que os botões de um bit apresentam-se demasiado gastos, os níveis de esforços aumentam de tal forma que começam a ocorrer danos. Quando a rocha é muito abrasiva, produz-se facilmente o desgaste dos botões, no entanto, a melhor forma de impedir o desgaste prematuro é proceder à afiação periodicamente. A afiação dos bits de perfuração é uma operação indispensável na perfuração de maciços rochosos, uma vez que o desempenho obtido pelos bits afiados nomeadamente a velocidade de penetração, tem uma influência bastante significativa nos custos e qualidade da perfuração (Galiza, 2013) (Figura 36).

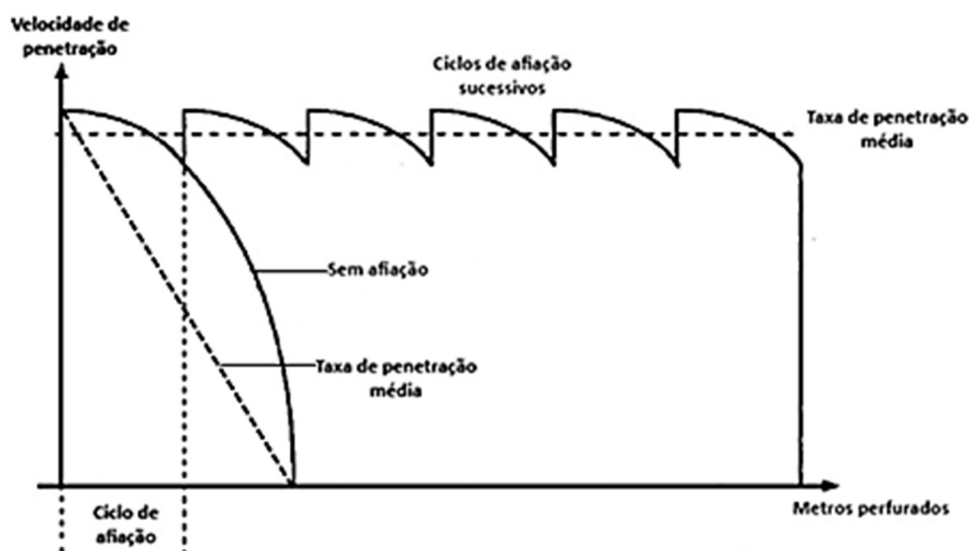


Figura 36- Teoria da afiação de bits (adaptado de Manual de Desmonte de Maciços Rochosos I, ISEP 2007/2008).

A afiação dos bits deve ser efetuada sempre que: a superfície de desgaste dos botões ultrapassar um terço do diâmetro do botão; Diminuição do ângulo dos botões periféricos; Diminuição da velocidade de penetração; Evidência de fadiga ("snake skin") na superfície dos botões (figura 37);

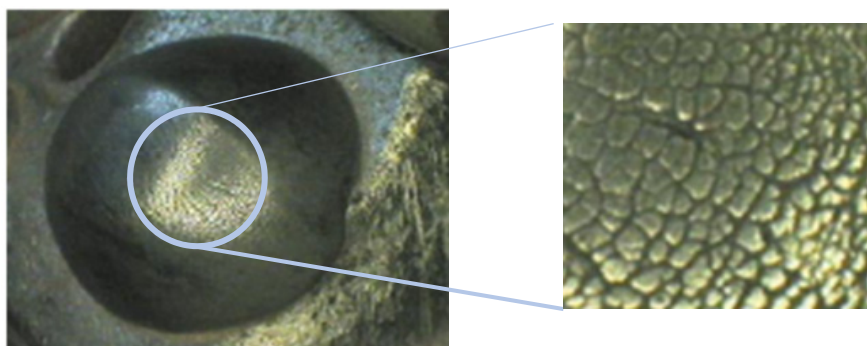
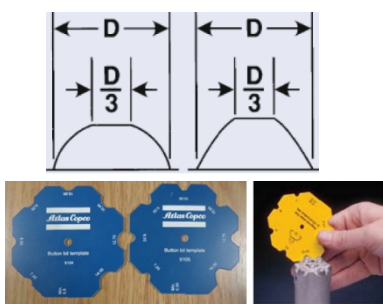
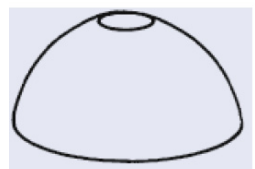

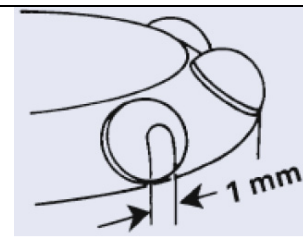
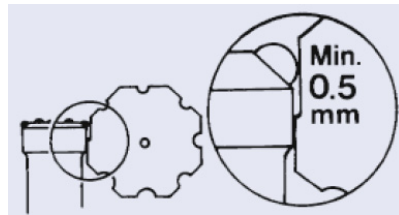


Figura 37-Evidência de fadiga ("Snake skin") na superfície dos botões (Adaptado Lima,2014).

A afiação dos bits diminui os desvios de perfuração, aumenta a velocidade de penetração e possibilita um aumento tempo de vida útil do acessório. Após a sua utilização, os bits devem ser recolhidos para o "centro de afiação", onde todas as características anteriormente referidas devem ser monitorizadas, registadas e guardadas numa base de dados. Após essa análise decide-se se o seu tempo de vida útil cessou, ou se é efetuada uma nova afiação dos seus botões, decapagem da matriz de aço dos furos de limpeza e da face lateral do bit, referidos anteriormente. No quadro 35 é descrito a metodologia de afiação dos bits.

Quadro 35-Metodologia de afiação de bits (adaptado Atlascopco 2007/2008).

Metodologia de afiação de bits		
Conceito	Descrição	Esquema
Desgaste da superfície de contacto	Os bits utilizados na operação da perfuração devem ser substituídos quando a superfície dos botões apresenta um desgaste de aproximadamente 1/3 do diâmetro do botão. O operador deve executar um controlo periódico dessa dimensão, com o auxílio de um escantilhão.	 <p>O diagrama superior mostra dois botões de bit com diâmetro total D e uma seta indicando um desgaste de $\frac{D}{3}$ na superfície de contacto. Abaixo, há duas fotos: uma de dois bits azuis e outra de uma mão segurando um bit amarelo para medição com um escantilhão.</p>
Limite de afiação	Durante a afiação é recomendável deixar o topo dos botões com uma superfície ligeiramente plana de alguns milímetros. O volume de carboneto de tungsténio que seria necessário remover para obtermos os botões, com perfis idênticos ao desenho inicial, não se justifica uma vez que os ganhos daí retirados não compensam as perdas de desgaste nas fresas e o tempo perdido na afiação.	 <p>O diagrama mostra um botão de bit com uma superfície superior ligeiramente plana.</p>
Afiação de botões partidos	Um bit pode permanecer em serviço, enquanto os botões laterais mantiverem o diâmetro do bit. Os botões fraturados devem ser sempre cortados segundo um plano para evitar que os estilhaços de carboneto de tungsténio possam danificar os outros botões.	 <p>O diagrama ilustra um botão partido sendo cortado ao longo de um plano diagonal para remover os estilhaços.</p>
Afiação dos botões laterais	Durante a afiação dos botões laterais, a perda do ângulo deve ser corrigida sem diminuir demasiado o diâmetro. É recomendável deixar cerca de 1mm (máximo) de face plana destes botões.	 <p>O diagrama mostra a afiação de um botão lateral, com uma seta indicando a manutenção de uma face plana de 1 mm.</p>
Tolerância entre botão lateral e parede da cabeça do bit	Quando necessário, dever ser removido algum aço por baixo dos botões para ser mantida uma tolerância mínima de 0,5 mm (Figura 88). Se os furos de limpeza deformarem, estes devem ser abertos com uma fresa ou uma lima.	 <p>O diagrama mostra a tolerância entre um botão lateral e a parede da cabeça do bit, com uma seta indicando uma distância mínima de 0,5 mm.</p>

3.9. Nova tecnologia de perfuração: Powerbit T45

O Powerbit é uma nova gama de bits para martelos Tophammer (martelo à cabeça) a céu aberto da Atlas Copco Secoroc (figura 38).



POWERBITS											
Diameter		Retrac	Product No.	Product code	No. of buttons	Buttons x button diameter (mm)		Gauge buttons angle°	Flushing hole		Weight approx. kg
mm	inch					Gauge	Centre		Side	Centre	
76	3	Yes	90029354	136-6076-21-44-70,57-20	13	8x12,7	5x11	35°	—	4	2,9

Figura 38-Bit Powerface da gama powerbit T45 e suas características técnicas.

A gama Powerbit T45 apresenta determinadas características técnicas inovadoras como se pode verificar no quadro 36, assim como compõe uma coluna de perfuração completa de uma só gama.

Quadro 36- Características técnicas inovadoras do Powerbit T45 (Atlascopco 2016).

Características técnicas inovadoras do Powerbit T45	
Maior vida útil	Melhor desempenho
Seleção mais fácil e simplificada	Tecnologia do botão e tratamento de superfície patenteada
Maior duração entre afiações	Design de face e do corpo do bit otimizado
Maior taxa de penetração	Furos de limpeza maiores

O campo de aplicação desta nova gama de bits compreende todo o tipo de rocha, desde a rocha branda a rocha dura, assim como de rocha não-abrasiva a abrasiva (figura 39 e 40). A gama do Powerbit é mais compacta e versátil, existindo cerca de 30% menos bits no leque de opções para aplicações de perfuração Tophammer (figura 41).

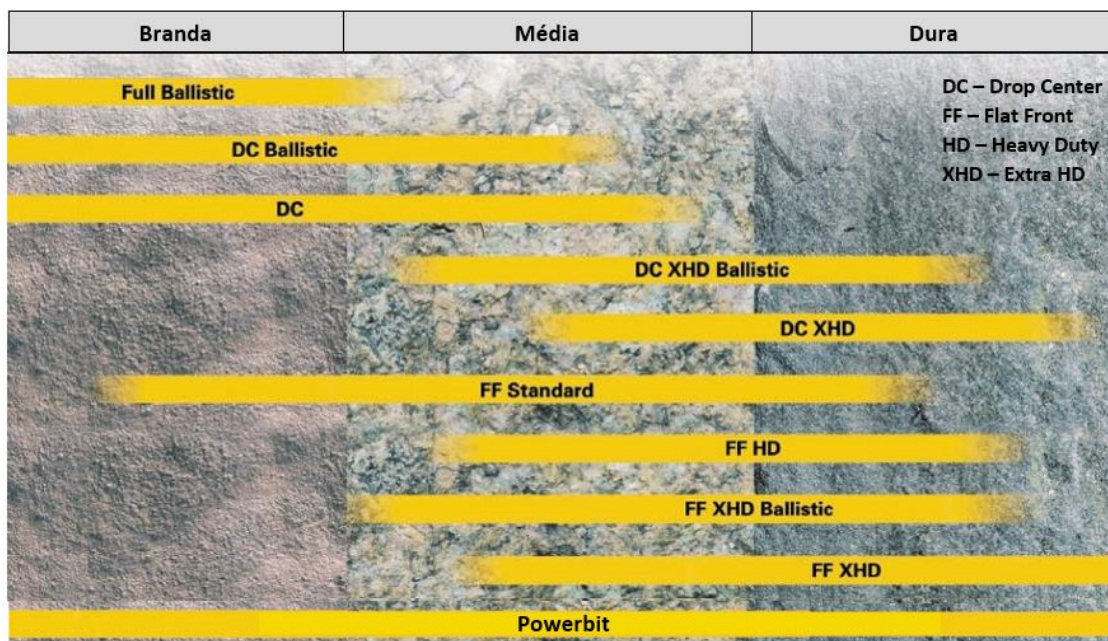


Figura 39-Campo de aplicação do Powerbit vs Bits já existentes (Atlascopco 2016).

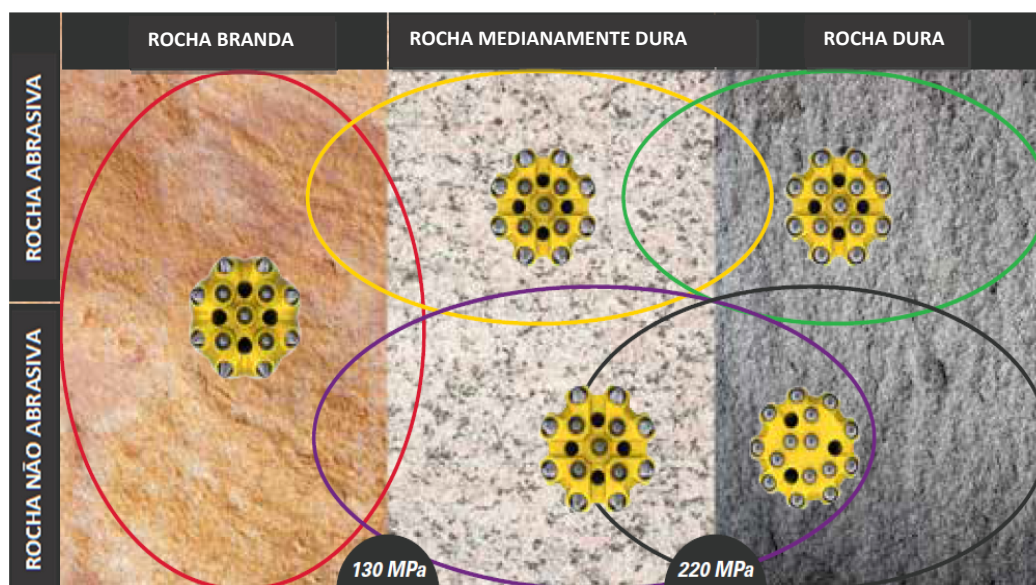


Figura 40- Campo de aplicação dos diferentes bits que compõe a gama Powerbit T45 (Atlascopco 2016).

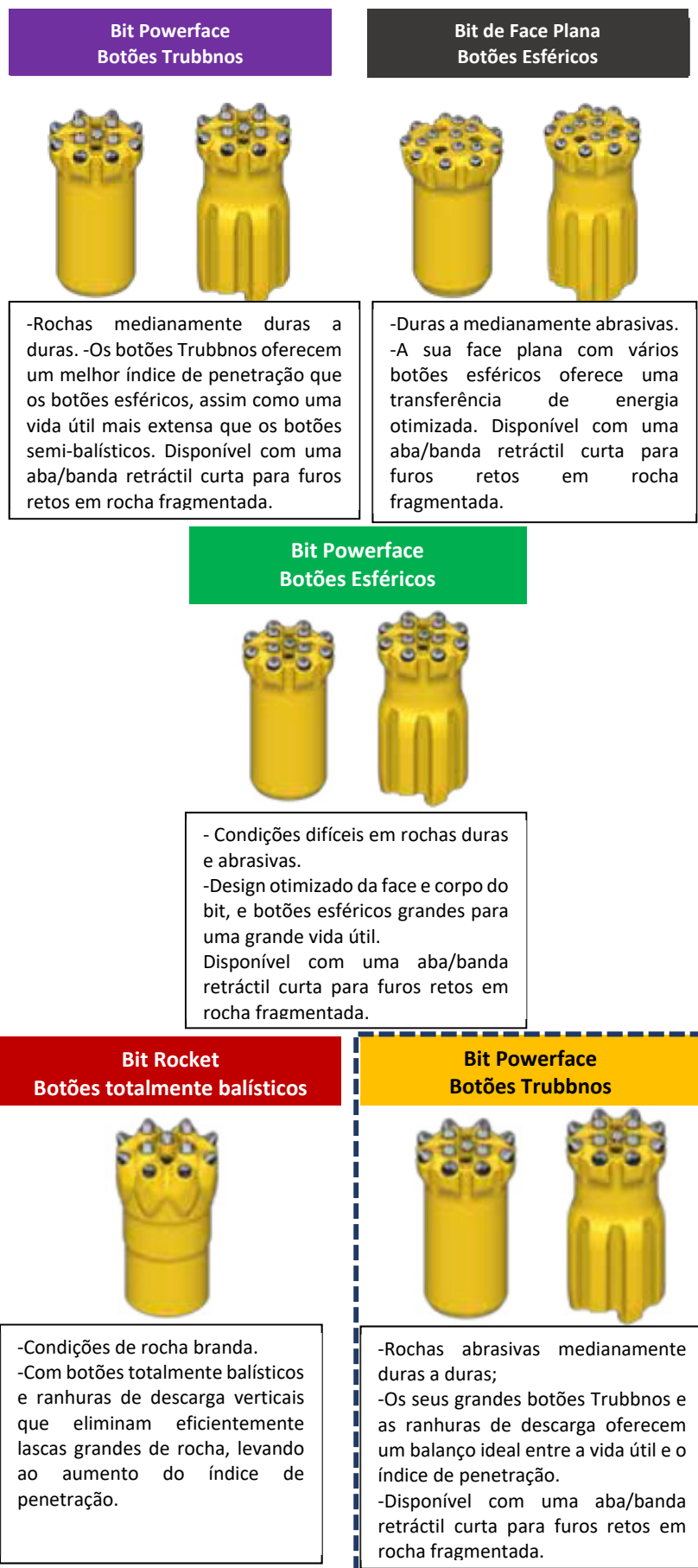


Figura 41- Campo de aplicação dos diferentes bits que compõe a gama Powerbit T45 (Atlascopco 2016).

Os bits retrac compreendem umas abas leves que permitem que a energia de impacto chegue de maneira mais eficiente ao maciço, enquanto oferece um excelente alinhamento do bit. Também os orifícios de limpeza são mais largos, garantindo que a rocha triturada seja retirada eficientemente. Relativamente ao aço do corpo do bit, este é mais duro e resistente, para que se garanta uma dureza, força e resistência à abrasão adequadas. O aço é mais resistente e segura melhor os botões, reduzindo o risco de se perderem. Os botões Trubbnos são mais planos e apresentam mais carbono cimentado nos pontos de maior necessidade (figura 42).

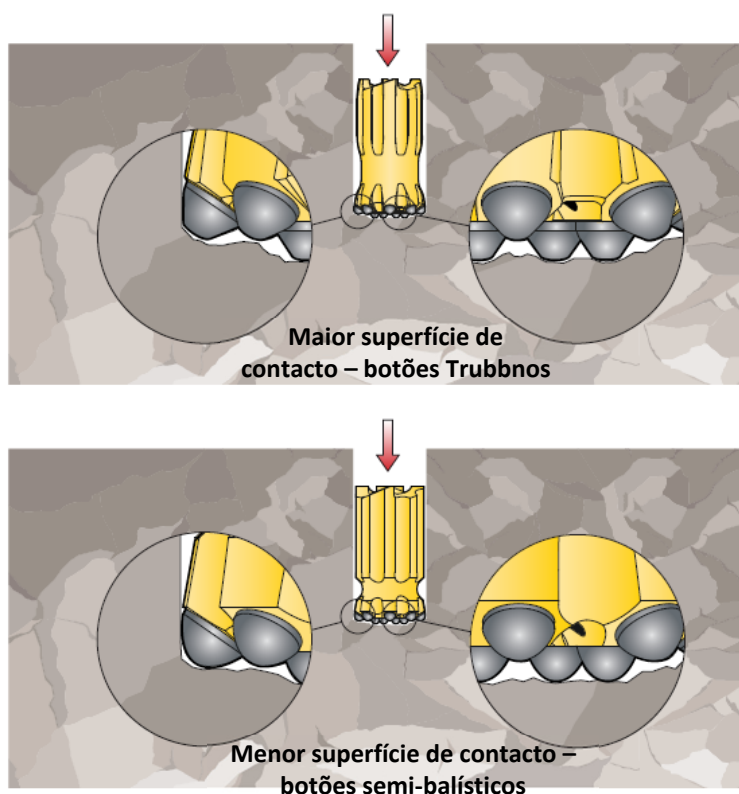


Figura 42- Eficiência no contacto dos botões Trubbnos comparado com os botões semi-balísticos (catalogo powerbit Atlas Copco Secoroc 2016).

Os botões Trubbnos e os botões esféricos têm um tratamento novo patenteado, o Enduro Extra, no qual confere uma superfície de contacto mais dura, resistente e superior aos botões semi-balísticos. Para um determinado diâmetro de desgaste, significa um aumento em carbono cimentado disponível para uma perfuração produtiva, podendo perfura-se mais metros antes da primeira afiação.

A afiação desta nova gama é semelhante a já existente e praticada com outros bits, embora seja necessário, os afiadores com forma Trubbnos, recreando a forma Trubbnos, mantendo a maior parte desta vantagem ao longo da vida útil dos bits. Em cada reafiação, a forma dos botões Trubbnos deve voltar a criar-se utilizando as rodas de afiação diamantadas Trubbnos, pois ao usar outro equipamento não apropriado, perde-se a vantagem destes botões com o tempo.

Com isto, a resistência ao desgaste melhora bastante e permite intervalos maiores entre afiações. A afiação no tempo certo é a chave para a produtividade da perfuração em rocha, por isso acarreta acompanhar o índice de penetração. Quando este baixo, esta na altura de afiar. Normalmente, pode-se perfurar até alcançar o rácio de desgaste plano (largura da área de desgaste plano / o diâmetro do botão) que é cerca de 40 – 50%. Quando se afia depois da primeira afiação, e necessário ter cuidado em manter uma área de desgaste plano de 10% - não vale a pena afiar demais a vida útil do bit (Atlascopco 2016).

Como já referido anteriormente o procedimento de afiação é o comum aos bits já anteriormente existentes, sendo necessário as rodas diamantadas de afiação Trubbnos que encaixam na afiadora Secoroc BQ3 e a afiadora portátil Secoroc Manual B (figura 43).

Secoroc BQ3



Secoroc Manual B



Figura 43-Máquinas de afiação dos bits (Atlascopco Secoroc 2016).



4.Avaliação das Novas Tecnologias de Perfuração: Impacto na Qualidade – Pedreira de Serdedelo

(Página propositadamente em branco)

4. Avaliação das novas tecnologias de perfuração: impacto na qualidade

4.1. Generalidades

Tal como foi referido no primeiro capítulo, o presente estudo teve como objetivo introduzir, numa perspetiva interdisciplinar, à temática da avaliação das novas tecnologias de perfuração de maciços rochosos a céu aberto, nomeadamente o impacto que estas ferramentas apresentam na qualidade da sua execução, ou seja os desvios. Primeiramente é realizada a caracterização geológico-geotécnica da compartimentação e resistência do maciço rochoso em estudo e numa fase posterior e já relativa à perfuração, são analisadas e comparadas duas ferramentas de execução (bit), que é a nova tecnologia designadamente o bit Powerface da gama Powerbit da Atlas Copco e o bit Retracs flat face da Duromin, do ponto de vista da qualidade. Também são analisados e comparados com esta nova ferramenta os desvios obtidos com as ferramentas utilizadas em 2008 (Ramos e Fonseca), nomeadamente o Retracs drop center, flat face e o Standart flat face, ambos da Sandvik.

4.2. Enquadramento Geográfico da Pedreira de Serdedelo

A Pedreira de Serdedelo (figura 44), com licença da Direção Geral de Geologia e Minas n.º 4441, localiza-se no distrito de Viana do Castelo, concelho de Ponte de Lima, freguesia da Ribeira, junto da delimitação desta freguesia com a de Serdedelo. A área em estudo insere-se na Bacia Hidrográfica do Rio Lima, ficando a Pedreira de Serdedelo situada a cerca de 2 km da margem esquerda do referido rio.



Figura 44-Pedreira de Serdedelo (adaptado Google Maps 2004).

O ponto notável de relevo na área é o v.g. de Castelo da Ermida (443m) (anexo II) e o ponto mais elevado da área da pedreira ronda os 310m e a base da pedreira situa-se a uma cota média de 190m. A pedreira de Serdedelo localiza-se a SSE da freguesia da Ribeira (a Sudeste da cidade de Ponte de Lima), entre as localidades de Barrio e Serdedelo.

A referida exploração, situada junto da EM-534 (que constitui o único acesso à pedreira), a aproximadamente 3 km da bifurcação da EN-203 para a EM-534, abrangerá uma área total de cerca de 17 ha (área de exploração, área de reservas de exploração e área de equipamentos) e é de classe 2. A extração propriamente dita decorre a céu aberto em flanco de encosta (figura 45) seguindo a direção de desmonte NE, por bancadas com altura média de 16 metros (figura 46).

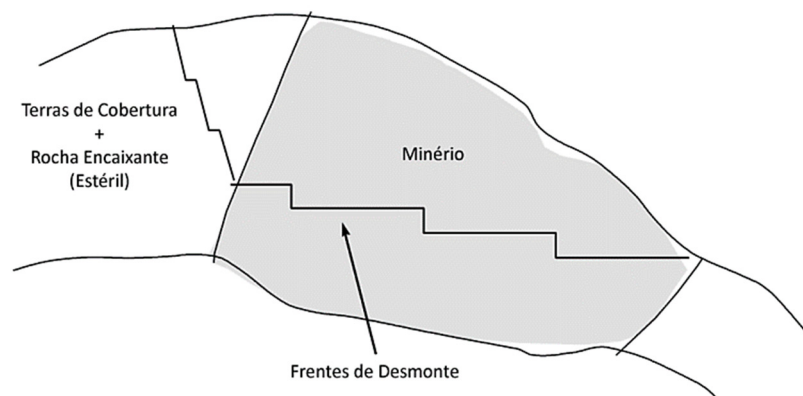


Figura 45-Exploração em flanco de encosta (LNEC).



Figura 46- Exploração atual em flanco de encosta da pedreira de Serdedelo.

A principal atividade desenvolvida na Pedreira de Serdedelo refere-se à extração de rocha granítica e fabrico de agregados de diferentes granulometrias e seus derivados destinados à construção civil e obras públicas, através de uma central de britagem e classificação. A Pedreira de Serdedelo iniciou a sua atividade há pelo menos 40 anos, encontrando-se atualmente a ser explorada pela empresa *Elevation Engenharia – Elevogroup - ElevoAgregados, SA*.

4.3. Enquadramento regional (geomorfologia, geotectónica, hidrogeologia)

A pedreira de Serdedelo, situada no Alto Minho, possui um maciço rochoso constituído por granito biotítico porfiróide de grão grosseiro a médio, por vezes biotíticos (figura 47) segundo a Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000 (folha 5-A (Viana do Castelo) – Teixeira et al., 1972) (Anexo I). O maciço rochoso apresenta foliação de fluxo materializada por alinhamento de cristais de biotite, e ocasionalmente, de megacristais de plagioclase, feldspato potássico e quartzo, surgindo sem evidenciarem qualquer simetria à vista desarmada. Será importante referir que na zona envolvente à pedreira estão localizadas formações com rochas metamorfizadas tais como xistos e grauvaques com intercalações de xistos grafitosos e lilitos, com graptólitos (figura 48).

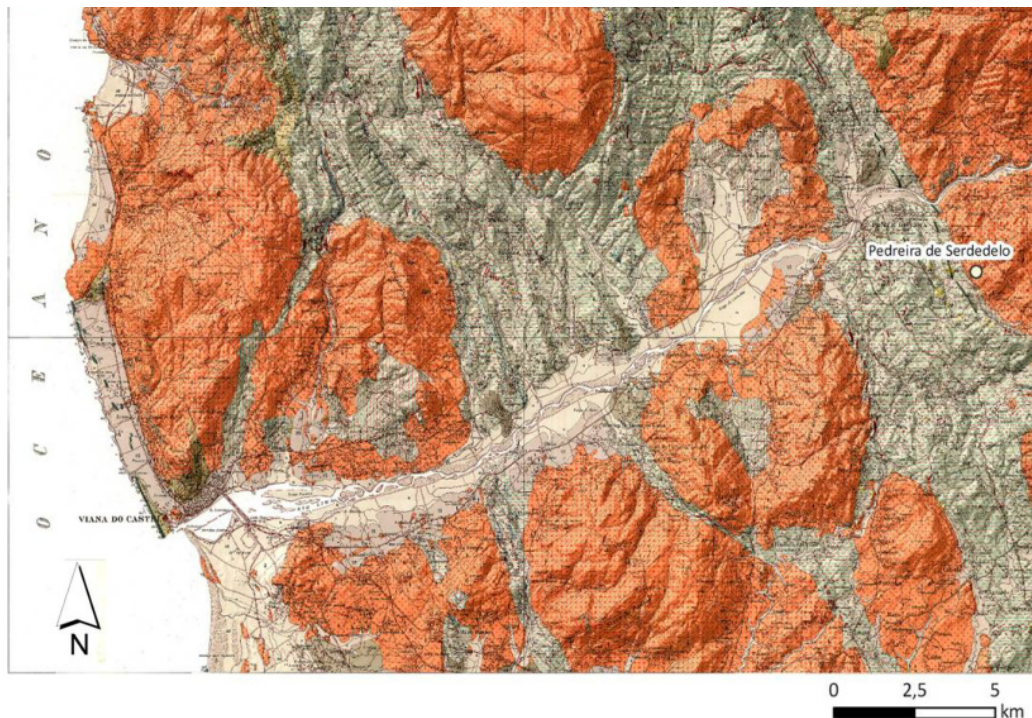
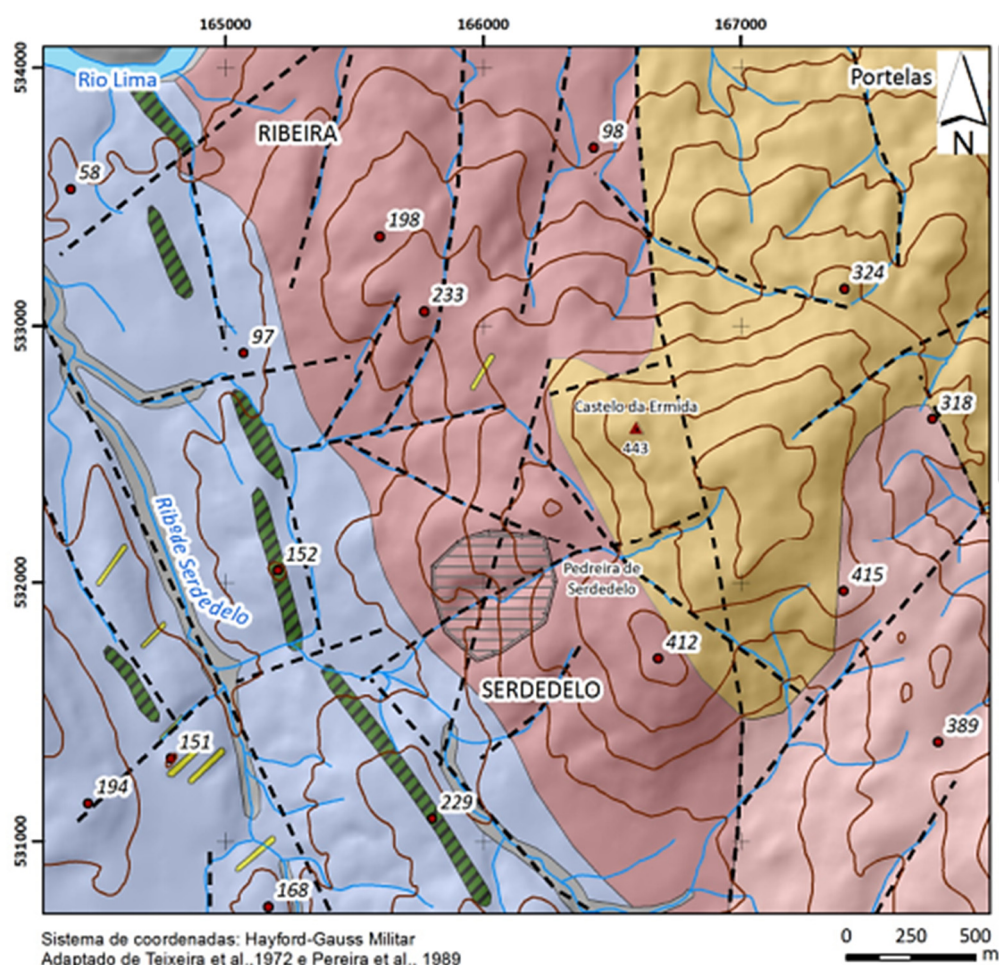


Figura 47- Enquadramento da geologia regional do sector a Norte de Viana do Castelo [fotomontagem, com carta de relevo sombreado, adaptada da Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000, folha 5-A (Viana do Castelo); Teixeira et al., 1972]. Os tons avermelhados representam os granitóides, as tonalidades cinza-esverdeadas são rochas metassedimentares e tons cinza claro são os depósitos sedimentares.



Depósitos de cobertura

Holocénico

Aluviões actuais

Rochas metassedimentares

Silúrico

Corneanas, xistos andaluzíticos, xistos granatíferos

Ordovício

Quartzitos maciços, quartzitos xistóides

Rochas granitóides

Granodiorito porfiróide, biotítico, com megacristais

Granito de grão fino a médio, com megacristais

Granito porfiróide, de grão grosseiro

Filões e massas

Aplito-pegmatito e pegmatito

Quartzo

Lineamentos tectónicos foto-interpretados

Pontos cotados

Vértices geodésicos

Curva de nível

Rede Hidrográfica

Pedreira

Figura 48-Enquadramento geológico regional da pedreira de Serdedelo, Sudeste de Ponte de Lima (base cartográfica: adaptada/revista de Teixeira et al., 1972; Pereira et al., 1989).

Os maciços rochosos da área em estudo fazem parte de uma faixa de granitóides relacionados com a orogenia Varisca (ou Hercínica), com orientação geral NW-SE, que se estende desde o Alto Minho até às Beiras. Do ponto de vista geotectónico estes inserem-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (e.g., Dias et al., 2000; Ribeiro et al., 2007).

Uma importante rede de fracturação regional retalha os granitóides em estudo e fácies graníticas envolventes, obedecendo fundamentalmente, aos seguintes sistemas de fracturação, a saber: NW-SE; NNE-SSW a NE-SW e ENE-WSW. O mais antigo, do ponto de vista geológico, e mais importante tem orientação geral NW-SE (coincidente com a falha regional de Vigo – Vila Nova de Cerveira - Régua) e o mais recente tem orientação média NNE-SSE a NE-SW, Figura 49.

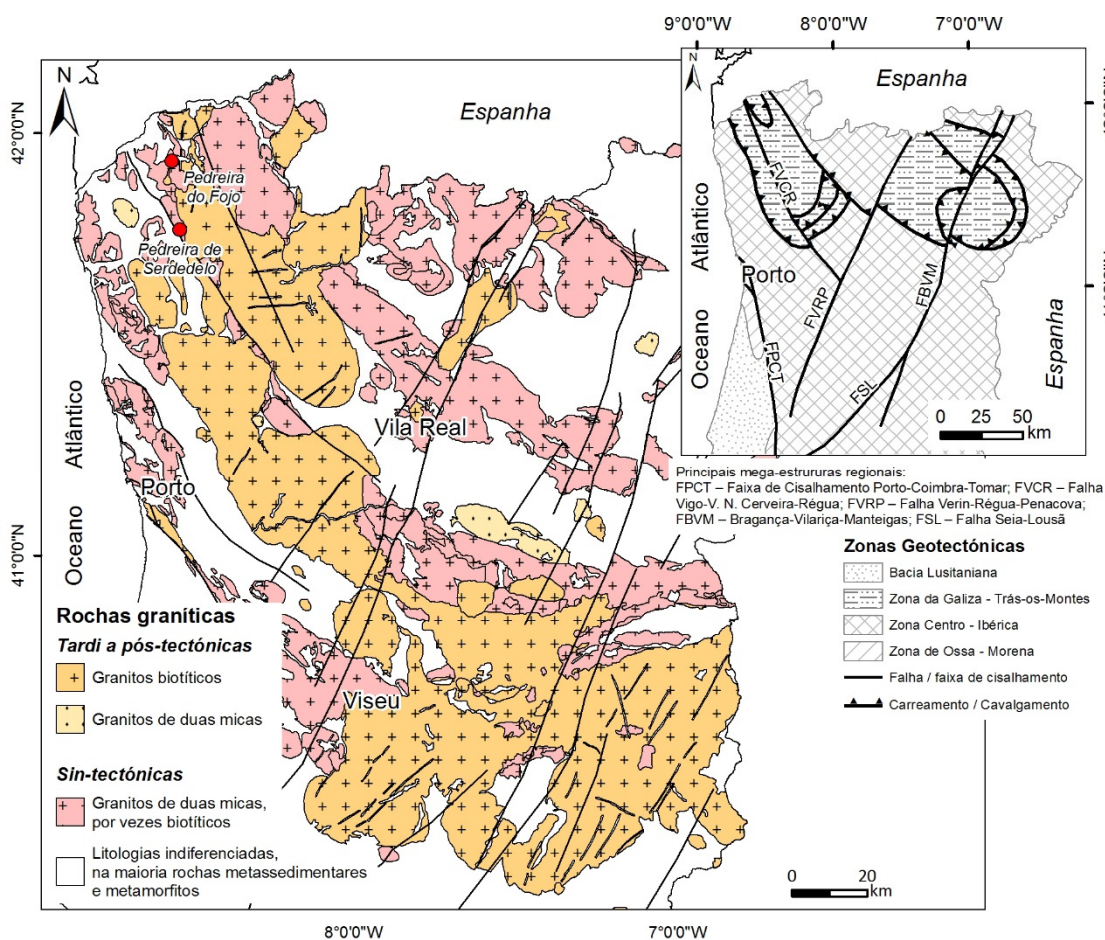


Figura 49-Enquadramento geotectónico regional dos granitos Variscos da Zona Centro-Ibérica, bem como a visualização das principais faixas de cisalhamento e sistemas de falhas geológicas regionais do NW de Portugal (adaptado Galiza, 2013).

É, ainda de referir que a pedreira em estudo se insere na região do Vale do Lima no Alto Minho, caracteriza-se assim, por ser um dos locais onde chove mais em Portugal Continental, com precipitação superior a 2800 mm (INMG, 1984) e por ser rica em recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Esta está inserida na RH1 Minho e Lima, mais concretamente Bacia Hidrográfica do rio Lima.

As linhas de água na envolvente da pedraira desaguam na Ribeira de Serdedelo, que por sua vez desagua no Rio Lima. Esta ribeira constitui a ocorrência hídrica mais importante a assinalar na área envolvente. De acordo com a Carta Militar de Portugal, escala 1/25000, folha 28 – Ponte de Lima, figura 50, é perceptível ver que a área de exploração da pedraira é intercetada por uma linha de água cartografada. Entretanto, esta linha de água já foi modificada devido à exploração da pedraira, não afetando diretamente a área de exploração.




Figura 50- Enquadramento geográfico da Pedreira de Serdedelo (adaptado da Carta Militar de Portugal, escala 1/25000, folha 28 - Ponte de Lima).

4.4. Caracterização do material rochoso

A Pedreira de Serdedelo corresponde a um maciço constituído genericamente por um granito biotítico, porfiróide, grão grosseiro a médio, exibindo uma foliação de fluxo materializada sobretudo pelo alinhamento dos cristais de biotite e, por vezes, de megacristais de plagioclase. No Quadro 37 encontram-se dados obtidos de um estudo micropetrográfico (adaptado de NORCONTROLE, 2004) onde se encontram as percentagens de minerais presentes na constituição da material rocha da pedreira de Serdedelo.

Quadro 37- Caraterização micropetrográfica da material rocha de Serdedelo (adaptado NORCONTROLE, 2004).

Parâmetro	Descrição	
Classificação	Granitoide da Pedreira de Serdedelo	
Estrutura	Composta por minerais leucocratas (feldspato e quartzo) e melanocratas (biotites) onde se destacam megacristais de feldspato.	
Textura	Grosseira a média	
Mineralogia	Feldspato potássico	34%
	Plagioclase	28%
	Quartzo	23%
	Biotite	8%
	Moscovite	4%
	Zircão	<1%
	Apatite	<1%
	Silimanite	<1%



No Quadro 38, encontram-se apresentados os elementos químicos, constituintes do material da pedreira, e a sua representatividade percentual (adaptado de CICCOPN, 2006).

Quadro 38- Composição química da material rocha de Serdedelo (adaptado de CICCOPN, 2006).

Elementos	Composição granítica de referência (%) (Press & Siever, 1998)	Granitoide de Serdedelo (%)
SiO ₂	71,60	69,47
Al ₂ O ₃	14,50	15,52
Fe ₂ O ₃	1,50	2,26
Fe	1,10	-
MnO	-	0,07
MgO	0,9	0,47
CaO	2,00	0,96
Na ₂ O	3,00	3,27
K ₂ O	4,10	5,65
TiO ₂	-	0,24
P ₂ O ₅	-	0,24
H ₂ O+	0,8	2,35

4.5. Zonamento Geotécnico da Pedreira de Serdedelo

Para uma melhor compreensão da fracturação dominante na compartimentação do maciço rochoso da Pedreira de Serdedelo, foi utilizado um esboço de zonamento geotécnico geral (adaptado de Ramos e Fonseca, 2008), presente na Figura 51, onde cada zona geotécnica se encontra caracterizada e apresentada consoante a sua cor.

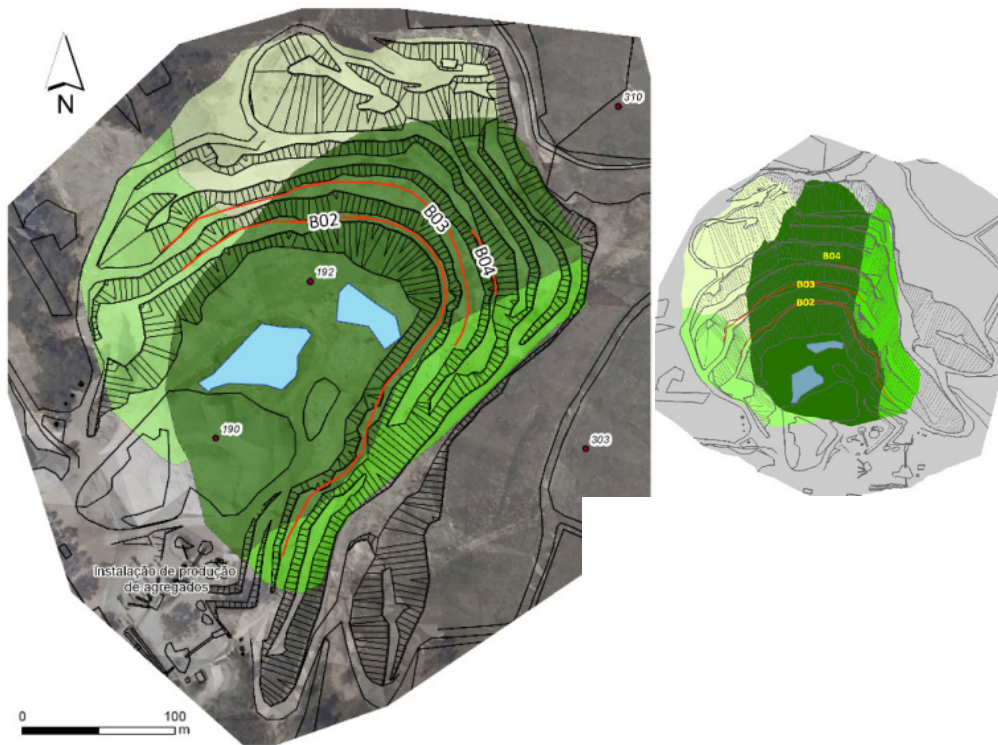
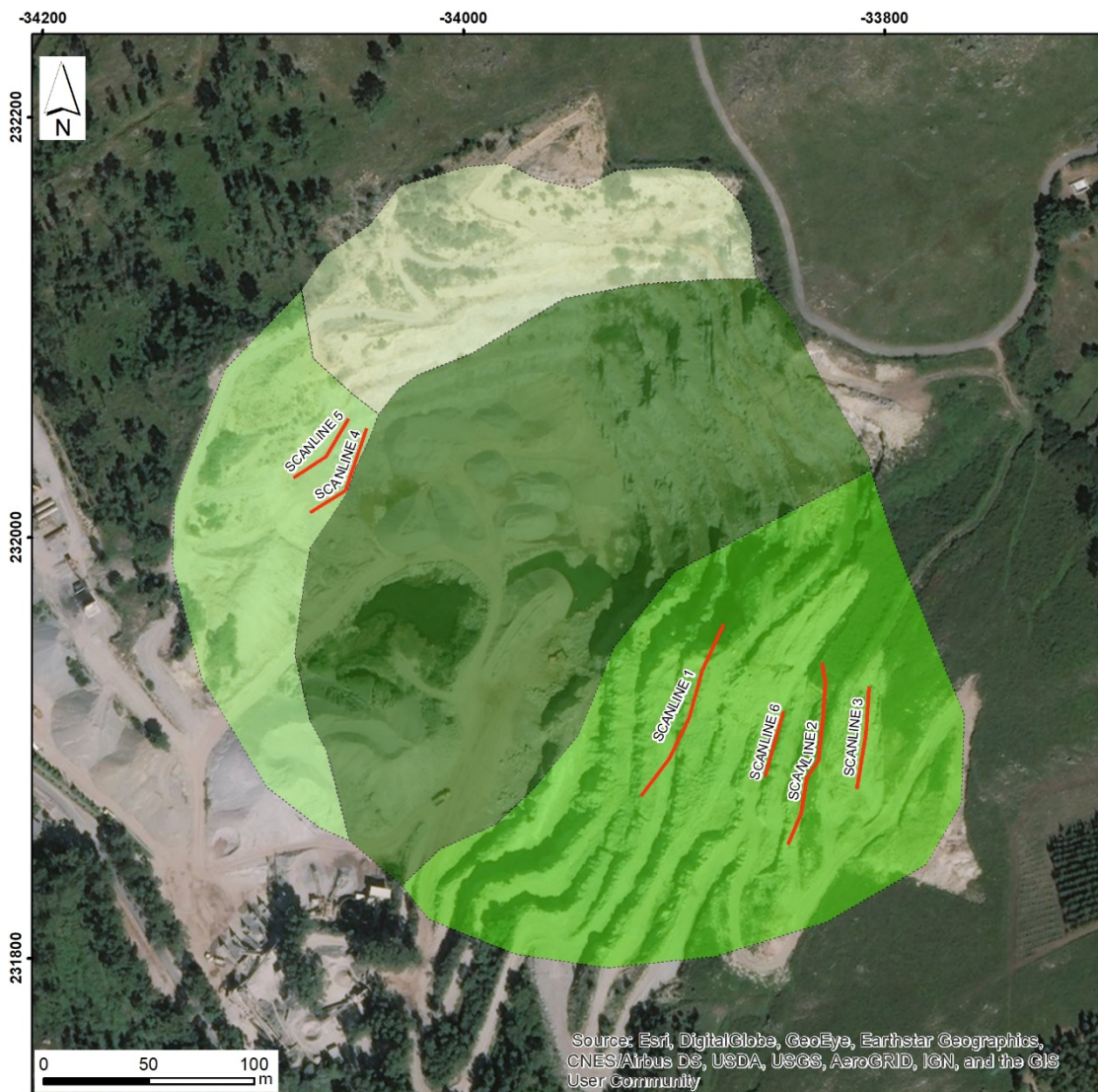


Figura 51- Pedreira de Serdedelo – esboço de zonamento geotécnico geral (adaptado de Ramos, 2008 e Fonseca,2008).

Quadro 39- Descrição das zonas geotécnicas (adaptado Ramos,2008 e Fonseca,2008)

Zona Geotécnica	Descrição
ZG I	Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, alterado a muito alterado (W4), com espaçamento muito afastado a afastado (F1-2); resistência à compressão uniaxial muito baixa (<20 MPa);
ZG II	Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, medianamente alterado (W3) a pouco alterado (W2), com espaçamento afastado (F2); resistência à compressão uniaxial média a elevada (50 a 80 MPa; S3 a S2);
ZG IIIa	Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, são a pouco alterado (W1-2), com espaçamento afastado a medianamente afastado (F2-3); resistência à compressão uniaxial elevada (100 – 140 MPa; S2); Índice de Carga Pontual Is50 = 6 a 7 MPa;
ZG IIIb	Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, são a muito pouco alterado (W1), com espaçamento afastado (F2); resistência à compressão uniaxial elevada (120 – 160 MPa; S2); Índice de Carga Pontual Is50 = 11 a 12 MPa

Na figura 52, esta representada a cartografia do zonamento geotécnico, atualizado em outubro de 2017, onde se encontram as scanlines estudadas georreferenciadas (Revisto e atualizado de Fonseca, 2008; Ramos, 2008; Galiza et al., 2011; Galiza, 2013).



— Perfis Lineares ("scanlines")

Cartografia de Zonamento Geotécnico (versão Outubro de 2017)

(Revisto e atualizado de Fonseca, 2008; Ramos, 2008; Galiza et al., 2011; Galiza, 2013)

- ZG I – Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, alterado a muito alterado (W4-5), com espaçamento afastado (F1-2); resistência à compressão uniaxial muito baixa (<20 MPa)
- ZG II – Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, medianamente alterado (W3) a pouco alterado (W2), com espaçamento afastado (F2); resistência à compressão uniaxial média a elevada (50 a 80 MPa; S3 a S2)
- ZG IIIa – Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, são a pouco alterado (W1-2), com espaçamento afastado a medianamente afastado (F2-3); resistência à compressão uniaxial elevada (100 - 140 MPa; S2); Índice de Carga Pontual IS(50) = 6 a 7 MPa
- ZG IIIb – Granito biotítico de grão grosseiro a médio, com megacristais de feldspato, são a muito pouco alterado (W1), com espaçamento afastado (F2); resistência à compressão uniaxial elevada (120 - 160 MPa; S2); Índice de Carga Pontual IS(50) = 11 a 12 MPa

Figura 52- Pedreira de Serdedelo – Cartografia de Zonamento Geotécnico (versão Outubro de 2017), (Revisto e atualizado de Fonseca, 2008; Ramos, 2008; Galiza et al., 2011; Galiza, 2013).

4.6. Levantamento geológico-geotécnico e geomecânico das bancadas em estudo: generalidades

Este trabalho seguiu-se pelas normas, terminologias e procedimentos utilizados para estudos geotécnicos, mais propriamente, as técnicas de campo segundo ISMR (1978), GSE (1995) e pela proposta da ISMR (1981) designada “*Basic Geotechnical Description of Rock Masses*” (BGD) para caracterização geológico-geotécnica da compartimentação de maciços rochosos, com recurso à técnica de amostragem linear em superfícies expostas de descontinuidades do maciço. Antes de ser efetuado qualquer trabalho de “campo”, houve um breve estudo de reconhecimento e interpretação do local e sua envolvente através da consulta Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000 (folha 5-A (Viana do Castelo) – Teixeira *et al.*, 1972), da Carta Militar de Portugal, IGeoE, folha 7 à escala de 1/25000 e do *software Google Earth Pro* (imagem de satélite captada em 2013).

Após este trabalho de pesquisa, passou-se à observação direta do maciço rochoso em estudo para recolha de dados para a sua caracterização, pela técnica de amostragem linear (ISRM 1978, 1981; Chaminé & Gaspar, 1995) e posteriormente a partir da origem, da scanline, devidamente geoposicionada por um GPS de alta-precisão Trimble Geoexplorer do LABCARGA|ISEP, foram cartografadas de uma forma sistemática todas as descontinuidades (diaclases, falhas, estruturas filonianas, ...) que intersectavam essa linha de amostragem.

A pedreira de Serdedelo possui três frentes de exploração, sendo que, a frontal já se encontra quase na fase final de exploração e a frente da esquerda (NW) já se encontra no limite da sua exploração (embora tenha sido realizado uma scanline no 1º patamar, como é abordado de seguida), pelo que os trabalhos realizados se desenrolaram na frente direita (NE), como ilustra a figura 51.



Figura 53- Flanco de encosta de exploração atual (NE) da pedreira de Serdedelo (tracejado laranja).

Foram caracterizadas cinco bancadas (quadro 40), sendo quatro delas situadas na frente direita (NE) e uma situada na frente esquerda (NW).

Na figura 52, estão georreferenciadas as scanlines correspondentes as bancadas estudadas onde posteriormente se realizaram as pegas de fogo. Refere-se que a scanline 5, apesar de ter sido georreferenciada, posteriormente decidiu-se que não se realizaria uma pega de fogo nesse local e por essa razão não se aplicou a técnica de amostragem linear, não sendo contabilizada para o estudo.



— Perfis Lineares ("scanlines")

Figura 54-Georreferenciação das scanlines estudadas na Pedreira de Serdedelo (Labcarga,2017).

Quadro 40- Identificação das bancadas analisadas e correspondente extensão da scanline.

Cartografia das superfícies expostas realizada			
Nº Bancada	Nº Scanline	Nº Patamar	Extensão da scanline (m)
Bancada 1	Scanline 1	2º Patamar	94,5
Bancada 2	Scanline 2	5º Patamar	85,0
Bancada 3	Scanline 3	6º Patamar	38,9
Bancada 4	Scanline 4	1º Patamar	46,4
Bancada 6	Scanline 6	4º Patamar	32,3
Total			297,1

Este registo foi realizado no sentido N-S (exceção da bancada 4 que foi realizada no sentido W-E), numa extensão total de 297,1 m (quadro 40), onde foram registadas 155 descontinuidades, sendo cada um alvo de registo e caracterização geométrica (orientação, espaçamento, continuidade) e física (rugosidade, abertura, preenchimento e presença de água), segundo a proposta pela ISRM (1981) nas fichas de levantamento geológico-geomecânico (Anexo III).

Em cada uma das faces expostas das bancadas, foram realizados testes de resistência do maciço rochoso através da aplicação na sua execução do martelo de Schmidt. Os dados recolhidos que foram obtidos com a aplicação da técnica da amostragem linear, com o imediato registo em ficha própria, foram posteriormente inseridos numa base de dados (ScanGeoData|BGD) desenvolvida por Fonseca & Ramos (2008). Foi igualmente utilizado o *software* geoinformático *Dips* da *RocScience* (versão 5.1) como complemento à análise dos dados registados para o estabelecimento das diferentes famílias para o maciço com a elaboração de diagramas geológico-estruturais (diagrama de rosetas e diagrama de contorno estrutural).

Na imagem da Figura 53, pode-se observar o método de trabalho referido, com a abordagem feita ao maciço aplicando a técnica da scanline, nas faces expostas do maciço e ao mesmo tempo podem ser observadas as condições em que foram realizados os levantamentos com a área envolvente com escombro (blocos de grande dimensão).



Figura 55- Aplicação da técnica da amostragem linear (scanline) e escombro na bancada 1.

4.7. Resumo da caracterização das bancadas em análise

Como já referido, foi efetuado a caracterização geológico – geotécnica de cinco bancadas (1,2,3,4 e 6), para tal foi aplicada a técnica da amostragem linear. Embora a abordagem seguida nesta investigação é centrada nas faces expostas do maciço rochoso que receberam as perfurações resultantes dos diagramas de fogo que foram posteriormente analisadas em relação aos desvios (bancada 2,3 e 6), também se apresentará a caracterização geológico-geotécnica das restantes bancadas (1 e 4). Os dados que foram recolhidos por bancadas no terreno, foram registados em fichas próprias para o efeito e transferidos posteriormente para base de dados ScanGeoData|BGD (Ramos, 2008; Fonseca, 2008), para a devida análise e definição das principais famílias de descontinuidades por bancada (Anexo IV).

Os Quadros resumo do 41 ao 50, são relativos às características geológico-geotécnicas dos dados processados relativos as bancadas estudadas.

Quadro 41- Bancada 1- Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Famílias	Nrº Descontinuidades	Intervalo de direção	Direção Média	Inclinação
1º	17	N [130º/140º [E	N135ºE	50 NE
2º	13	N [36º/46º [E	N 40º E	54 SE
3º	6	N [109º/119º [E	N 111º E	75 SW

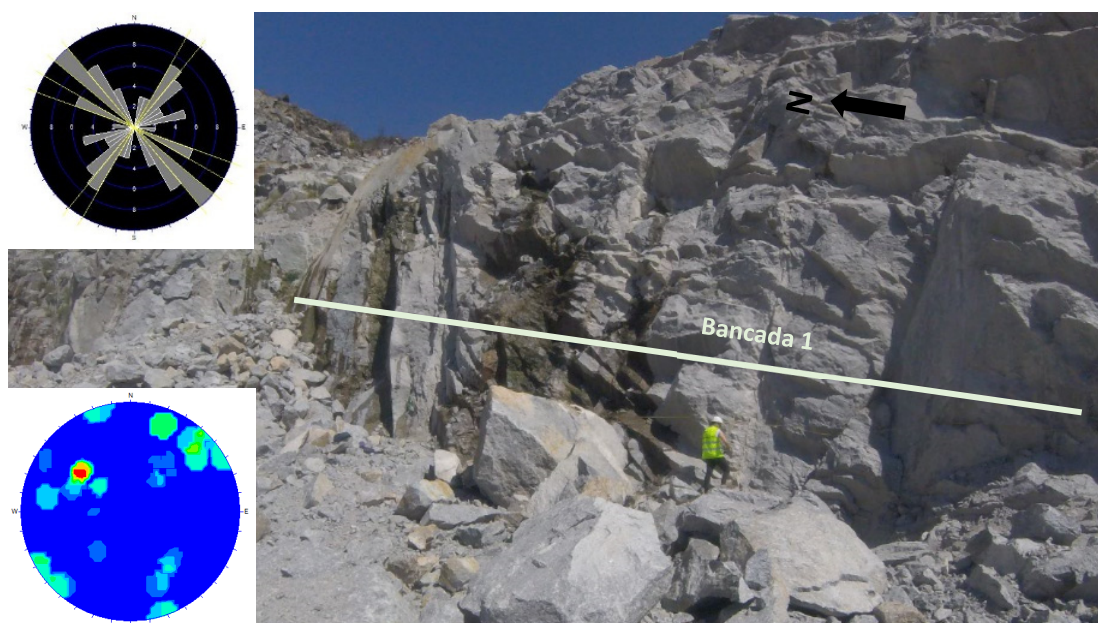


Figura 56-Fotografia da bancada 1 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=68).

Quadro 42- Bancada 1-Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=68).

	Designação	Classe	Gráfico	Quantidades	
Tipo de Descontinuidade	Falha	F		0	0
	Díacase	D		100%	68
	Foliação	FL		0%	0
	Estrutura filoniana	EF		0%	0
	Outra	O		0%	0
Grau de alteração	Sã a não alterada	W1		100%	68
	Ligeiramente alterada	W2		0%	0
	Moderadamente alterada	W3		0%	0
	Muito alterada	W4		0%	0
	Completamente alterada	W5		0%	0
Grau de fracturação	Muito afastadas	F1		28%	19
	Afastadas	F2		35%	24
	Medianamente afastadas	F3		29%	20
	Próximas	F4		7%	5
	Muito próximas	F5		0%	0
Abertura	Fechada	F		0%	0
	Aberta	A		85%	58
	Muito aberta	M		15%	15
Continuidade	Muito Pouco Continua	MP		9%	6
	Pouco continua	PC		32%	22
	Medianamente continua	MC		44%	30
	Continua	C		15%	10
Terminação	Descontinuidade	D		100%	68
	Rocha	R		0%	0
	Obscura	O		0%	0
Preenchimento	Argila Mole	AM		0%	0
	Argila Dura	AD		0%	0
	Quartzo	Q		0%	0
	Cataclasito	CM		0%	0
	Rocha esmagada	RE		100%	68
	Nenhum	N		0%	0
Rugosidade	Denteada	D		0%	0
	Ondulada	O		100%	100
	Plana	P		0%	0
Curvatura	Planas a ligeiras. curvas	LC		85%	58
	curvas	C		15%	10
	Muito curvas	MC		0%	0
Água	Seco	S		63%	43
	Húmido	H		18%	12
	Gotejante	G		13%	9
	Fluxo	F		4%	3

A bancada 1 (Figura 56 e Quadro 41 e 42) que apresenta orientação N-S, foram tratadas 68 descontinuidades, e com o auxílio dos diagramas de contorno estrutural e diagramas de rosetas foi determinada a principal família de diaclases, com orientação N130º/140ºE. Numa análise geral ao quadro 42, onde se encontram tratadas as descontinuidades, expressas nos parâmetros objeto de estudo, constata-se que o maciço rochoso nessa bancada aponta para ser predominantemente rocha sã (W_{1-2}), pouco fraturado, com um grau de fracturação (F2 - F3) com as diáclases afastadas a medianamente afastadas.





















Quadro 43- Bancada 2- Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Famílias	Nrº Descontinuidades	Intervalo de direção	Direção Média	Inclinação
1º	14	N [35º/45 [E	N39ºE	56ºSE
2º	4	N [100º/110º [E	N100º E	84 SW
3º	2	N [140º/150º [E	N140º E	80 NE



Figura 57- Fotografia da bancada 2 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=33).

Quadro 44- Bancada 2- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=68).

Designação		Classe	Gráfico	Quantidades	
Tipo de Descontinuidade	Falha	F		0	0
	Diaclase	D		100%	33
	Foliação	FL		0%	0
	Estrutura filoniana	EF		0%	0
	Outra	O		0%	0
Grau de alteração	Sã a não alterada	W1		100%	33
	Ligeiramente alterada	W2		0%	0
	Moderadamente alterada	W3		0%	0
	Muito alterada	W4		0%	0
	Completamente alterada	W5		0%	0
Grau de fracturação	Muito afastadas	F1		45%	15
	Afastadas	F2		33%	11
	Medianamente afastadas	F3		15%	5
	Próximas	F4		6%	2
	Muito próximas	F5		0%	0
Abertura	Fechada	F		0%	0
	Aberta	A		91%	30
	Muito aberta	M		9%	3
Continuidade	Muito Pouco Continua	MP		9%	3
	Pouco continua	PC		15%	5
	Medianamente continua	MC		67%	22
	Continua	C		9%	3
Terminação	Descontinuidade	D		88%	29
	Rocha	R		12%	4
	Obscura	O		0%	0
Preenchimento	Argila Mole	AM		0%	0
	Argila Dura	AD		0%	0
	Quartzo	Q		0%	0
	Cataclasito	CM		0%	0
	Rocha esmagada	RE		100%	33
	Nenhum	N		0%	0
Rugosidade	Denteada	D		0%	0
	Ondulada	O		100%	33
	Plana	P		0%	0
Curvatura	Planas a ligeiramente curvas	LC		61%	20
	curvas	C		39%	13
	Muito curvas	MC		0%	0
Água	Seco	S		97%	32
	Húmido	H		3%	1
	Gotejante	G		0%	0
	Fluxo	F		0%	0

Na bancada 2 (Figura 57 e Quadro 43 e 44) que recebeu a pega de fogo 1(PF1), apresenta a mesma orientação (N-S), que a bancada 1 e foram tratadas 33 descontinuidades, sendo determinada a principal família de diáclases com orientação N35º/45ºE. Constata-se nesta bancada a existência de rocha sã (W₁₋₂), e com classe de fracturação de muito afastadas a afastadas (F1 e F2).





Quadro 45- Bancada 3- Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Famílias	Nrº Descontinuidades	Intervalo de direção	Direção Média	Inclinação
1º	6	N [45º/55º [E	N 49º E	75 SE
2º	5	N [60º/70º [E	N 61º E	51 NW
3º	3	N [35º/45º [E	N 38º E	58 SE



Figura 58- Fotografia da bancada 3 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=15).

Quadro 46-Bancada 3- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=15).

	Designação	Classe	Gráfico	Quantidades	
Tipo de Descontinuidade	Falha	F		0	0
	Diaclase	D		100%	15
	Foliação	FL		0%	0
	Estrutura filoniana	EF		0%	0
	Outra	O		0%	0
Grau de alteração	Sã a não alterada	W1		100%	15
	Ligeiramente alterada	W2		0%	0
	Moderadamente alterada	W3		0%	0
	Muito alterada	W4		0%	0
	Completamente alterada	W5		0%	0
Grau de fratura	Muito afastadas	F1		20%	3
	Afastadas	F2		67%	10
	Medianamente afastadas	F3		7%	1
	Próximas	F4		0%	0
	Muito próximas	F5		0%	0
Abertura	Fechada	F		7%	1
	Aberta	A		93%	14
	Muito aberta	M		0%	0
Continuidade	Muito Pouco Continua	MP		0%	0
	Pouco continua	PC		20%	3
	Medianamente continua	MC		20%	3
	Continua	C		60%	9
Terminação	Descontinuidade	D		100%	15
	Rocha	R		0%	0
	Obscura	O		0%	0
Preenchimento	Argila Mole	AM		0%	0
	Argila Dura	AD		0%	0
	Quartzo	Q		0%	0
	Cataclasito	CM		0%	0
	Rocha esmagada	RE		100%	15
	Nenhum	N		0%	0
Rugosidade	Denteada	D		0%	0
	Ondulada	O		100%	15
	Plana	P		0%	0
Curvatura	Planas a ligeiramente curvas	C1-2		100%	15
	curvas	C3		0%	10
	Muito curvas	C4-5		0%	0
Água	Seco	S		87%	13
	Húmido	H		0%	0
	Gotejante	G		13%	2
	Fluxo	F		0%	0

Na bancada 3 (figura 58 e Quadro 45 e 46) que recebeu a pega de fogo 3 (PF3), apresenta a mesma orientação (N-S), que as bancadas anteriores e foram tratadas 15 descontinuidades, sendo determinada a principal família de diáclases esta com orientação N45°/55°E. Constata-se nesta bancada a existência de rocha sã (W₁₋₂), e com classe de fracturação (F2).

















Quadro 47- Bancada 4 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Família	Nrº Descontinuidades	Intervalo de direção	Direção Média	Inclinação
1º	5	N [20º/29º [E	N 22º E	65º SE
2º	2	N [70º/79º [E	N 70 º E	60º NW
3º	3	N [140º/149º [E	N 140º E	53º NE



Figura 59- Fotografia da bancada 4 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=27).

Quadro 48-Bancada 4- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=27).

	Designação	Classe	Gráfico	Quantidades	
Tipo de Descontinuidade	Falha	F		0	0
	Diaclase	D		100%	27
	Foliação	FL		0%	0
	Estrutura filoniana	EF		0%	0
	Outra	O		0%	0
Grau de alteração	Sã a não alterada	W1		100%	27
	Ligeiramente alterada	W2		0%	0
	Moderadamente alterada	W3		0%	0
	Muito alterada	W4		0%	0
	Completamente alterada	W5		0%	0
Grau de fracturação	Muito afastadas	F1		15%	4
	Afastadas	F2		56%	15
	Medianamente afastadas	F3		22%	6
	Próximas	F4		7%	2
	Muito próximas	F5		0%	0
Abertura	Fechada	F		0%	0
	Aberta	A		81%	22
	Muito aberta	M		19%	5
Continuidade	Muito Pouco Continua	MP		19%	5
	Pouco continua	PC		44%	5
	Medianamente continua	MC		33%	9
	Continua	C		4%	1
Terminação	Descontinuidade	D		100%	27
	Rocha	R		0%	0
	Obscura	O		0%	0
Preenchimento	Argila Mole	AM		0%	0
	Argila Dura	AD		0%	0
	Quartzo	Q		0%	0
	Cataclasito	CM		0%	0
	Rocha esmagada	RE		100%	27
	Nenhum	N		0%	0
Rugosidade	Denteada	D		0%	0
	Ondulada	O		100%	27
	Plana	P		0%	0
Curvatura	Planas a ligeiramente curvas	C1-2		100%	27
	curvas	C3		0%	0
	Muito curvas	C4-5		0%	0
Água	Seco	S		100%	27
	Húmido	H		0%	0
	Gotejante	G		0%	2
	Fluxo	F		0%	0

A bancada 4 (figura 59 e Quadro 47 e 48), apresenta orientação (W-E) diferente das restantes e foram tratadas 27 descontinuidades, sendo determinada a principal família de diáclases com orientação N20º/29ºE. Constata-se nesta bancada a existência de rocha sã (W₁₋₂), e com classe de fracturação, afastadas (F2).












Quadro 49- Bancada 6 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Famílias	Nrº Descontinuidades	Intervalo de direção	Direção Média	Inclinação
1º	5	N [24º/33 [E	N 28º E	58º SE
2º	2	N [110º/119º [E	N 117 º E	55º NE
3º	2	N [130º/139º [E	N 134º E	74º NE



Figura 60- Fotografia da bancada 6 e diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=12).

Quadro 50- Bancada 6- Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas(n=12).

	Designação	Classe	Gráfico	Quantidades	
Tipo de Descontinuidade	Falha	F		0	0
	Diaclase	D		100%	12
	Foliação	FL		0%	0
	Estrutura filoniana	EF		0%	0
	Outra	O		0%	0
Grau de alteração	Sã a não alterada	W1		100%	12
	Ligeiramente alterada	W2		0%	0
	Moderadamente alterada	W3		0%	0
	Muito alterada	W4		0%	0
	Completamente alterada	W5		0%	0
Grau de fratura	Muito afastadas	F1		42%	5
	Afastadas	F2		50%	6
	Medianamente afastadas	F3		0%	0
	Próximas	F4		0%	0
	Muito próximas	F5		8%	1
Abertura	Fechada	F		0%	0
	Aberta	A		92%	11
	Muito aberta	M		8%	1
Continuidade	Muito Pouco Continua	MP		8%	1
	Pouco continua	PC		17%	2
	Medianamente continua	MC		50%	6
	Continua	C		25%	3
Terminação	Descontinuidade	D		100%	12
	Rocha	R		0%	0
	Obscura	O		0%	0
Preenchimento	Argila Mole	AM		0%	0
	Argila Dura	AD		0%	0
	Quartzo	Q		0%	0
	Cataclasito	CM		0%	0
	Rocha esmagada	RE		100%	12
	Nenhum	N		0%	0
Rugosidade	Denteada	D		0%	0
	Ondulada	O		100%	12
	Plana	P		0%	0
Curvatura	Planas a ligeiramente curvas	C1-2		100%	12
	curvas	C3		0%	0
	Muito curvas	C4-5		0%	0
Água	Seco	S		58%	7
	Húmido	H		33%	4
	Gotejante	G		0%	0
	Fluxo	F		8%	1

Na bancada 6 (Figura 60 e Quadro 49 e 50) que recebeu a pega de fogo 2 (PF2), apresenta a mesma orientação (N-S), que as bancadas anteriores, com a exceção da bancada 4 e foram tratadas 12 descontinuidades, sendo determinada a principal família de diáclases esta com orientação N24º/33ºE. Constata-se nesta bancada a existência de rocha sã (W₁₋₂), e com classe de fracturação (F1 e F2), descontinuidades afastadas a muito afastadas.

4.8. Caracterização Geomecânica das bancadas- Resistência à compressão uniaxial

É indispensável o conhecimento da resistência à compressão do material-rocha, na caracterização dum maciço rochoso. No ensaio de resistência Uniaxial foi determinada a dureza da rocha nas bancadas em estudo, recorrendo ao esclerómetro portátil (ou martelo de Schmidt do tipo L), com sistematização do ensaio, foram recolhidos elementos em 10 estações geomecânicas de cada bancada. No quadro 51 ilustra a classe de resistência (S) de todas as bancadas estudadas, incluindo as que se realizou pega de fogo (a laranja).

Contatou-se assim que o maciço se classifica, na sua maioria, como sendo S2 (resistência elevada), segundo a ISRM (1981) e o valor médio de resistência varia entre 94 e 121 Mpa.

Quadro 51-Classe de Resistência à compressão uniaxial das bancadas estudadas (ISRM ,1981).

Bancada	Média resistência a compressão (MPa)	Classe de Resistência (S)					
		S1	S2	S3	S4	S5	S
		Muito elevada	Elevada	Média	Baixa	Muito baixa	
		>200	60-200	20-60	2-20	<6	
		(MPa)					
1	94		X				2
2	95		X				2
3	76		X				2
4	121		X				2
6	107		X				2

4.9. Equipamentos de Perfuração utilizados no estudo

Foram acompanhados os trabalhos de perfuração dos furos das malhas delineadas, como se pode observar pela Figura 61. Para a realização dos trabalhos de perfuração, foi utilizado um Roc de perfuração da *Atlas Copco Roc D7*, equipado com martelo COP 1838, varas T45 de 3,66 m e bit T45 de 76 mm, corpo *Retrac*, cabeça *flat face* com botões semi-balísticos da Duromin e a nova ferramenta de perfuração, o bit *Powerface* (botões Trubbnos-Trapezoidal), da gama *Powerbit*, da Atlas Copco (figura 62).



Figura 61- Equipamento de perfuração Atlas Copco Roc D7.



Figura 62-Bit retrac (à esquerda) e bit Powerface da gama Powerbit (à direita).

Na perfuração, foi utilizado o mesmo equipamento, o mesmo manobrador, mas diferentes gamas de acessórios de perfuração como já referido (1 bit retrac afiado, 3 bits Powerface e varas Twiz da Atlascopco). No quadro 52, esta referenciado as 3 pegas realizadas neste estudo, assim como o número de furos e metros furados.

Quadro 52-Número de furos e metros furados em cada pega e correspondente bit utilizado.

Pega	Bit utilizado	Nº Furos (Pega)	Metros furados (Pega)	Nº Furos (Repés)	Metros furados (Repés)	Nº Furos Totais	Metros furados Totais
1	Retrac afiado	12	110	48	112	60	222
	Powerbit 1	27	297	16	17	43	314
2	Powerbit 2	44	429	24	164	68	593
3	Powerbit 3	42	395	26	58	68	453
Total		121	1231	114	350	235	1581

Para a análise dos desvios, apenas se vai considerar os furos das pegas, pois os furos dos repés são pequenos, tendo maioritariamente entre 1 e 2,5 metros, podendo chegar aos 5 metros.

4.9.1. Limitações dos equipamentos de perfuração

É importante notar, que o Roc utilizado neste estudo não possui qualquer sistema de monitorização, sendo a inclinação e direção do braço, responsável pela perfuração, ditada pelo operador. Também não é possível com este equipamento monitorizar o comprimento e profundidade do furo, logo o operador sabe que o furo atingiu o comprimento pretendido através da contabilização do número de varas introduzidas no maciço.

O Carro de perfuração possui dois apoios ao nível das varas, sendo estes apoios responsáveis pela estabilidade do equipamento, ou seja, quanto mais apoios tiver a vara, maior é a estabilidade e precisão da perfuração. Como consequência da carência de sistemas de monitorização do equipamento de perfuração, ocorrera influência na qualidade e alinhamento do furo, sendo este ponto abordado num tópico posterior, relacionado com os desvios de perfuração.

4.10. Análise dos desvios

A análise dos desvios de perfuração será efetuada segundo as duas perspectivas seguidamente apresentadas, o emboquilhamento (direção e inclinação) e o desvio de flexão. Em cada uma destas perspectivas serão descritos os critérios de classificação que irão definir o tipo de desvio que em regra o furo apresenta. Os estudos realizados compreenderam a execução de três pegas de fogo em três bancadas diferentes (Figura 63,64 e 65) sendo conhecidos os pormenores de execução e trajetória da totalidade dos furos função dos resultados da leitura do Boretrak (anexo VII).

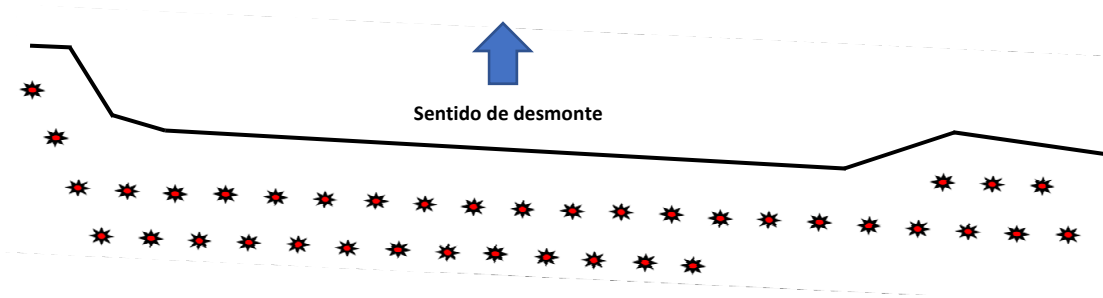


Figura 63-Representação esquemática da pega de fogo 1(PF1).



Figura 64- Representação esquemática da pega de fogo 2(PF2) .

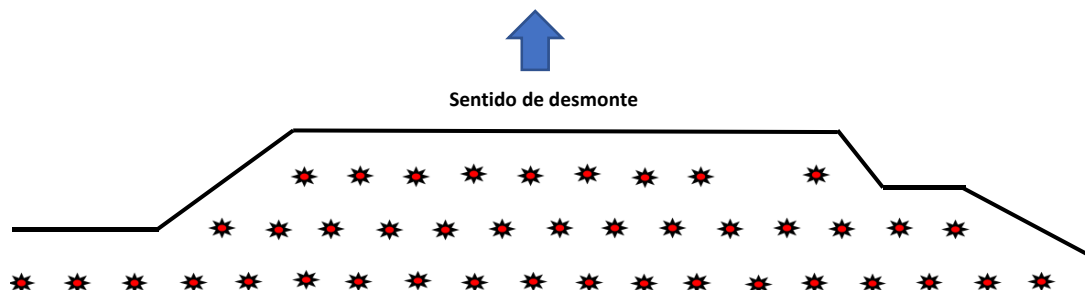


Figura 65-Representação esquemática da pega de fogo 3(PF3).

É de salientar, que nem todos os furos representados nos esquemas acima, foram ensaiados com o Boretrak (figura 66,67 e 68), devido a questões de segurança, pois alguns deles apresentavam difícil acesso ou até mesmo impossível.

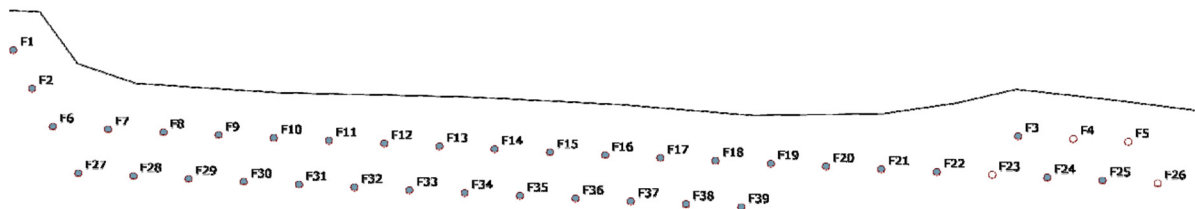


Figura 66-Furos ensaiados com o Boretrak da PF1 (furos com preenchimento azul).

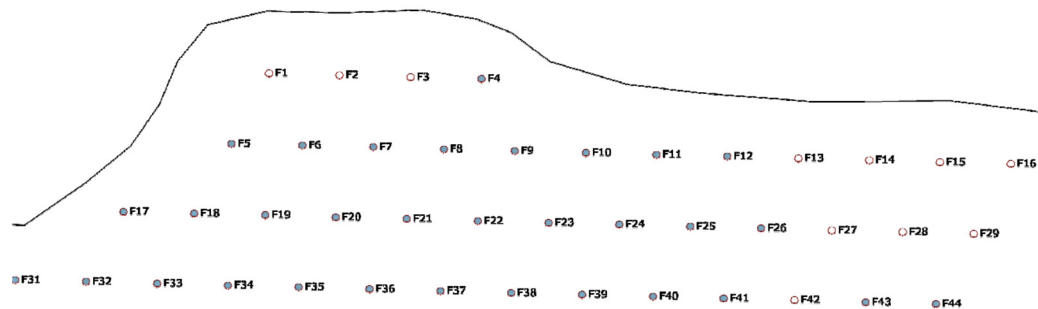


Figura 67- Furos ensaiados com o Boretrak da PF2 (furos com preenchimento azul).

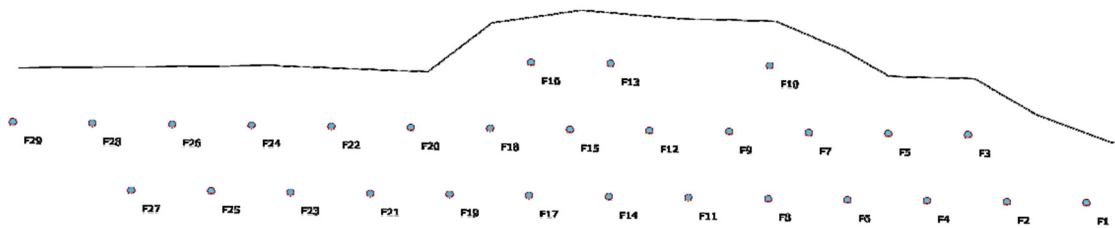


Figura 68- Furos ensaiados com o Boretrak da PF3 (furos com preenchimento azul).

4.10.1. Desvios ocorridos pelo emboquilhamento

O conhecimento e análise destes desvios, será realizada nos seguintes planos de projeção:

- Projeção do desvio na direção (X), desvio lateral, com a determinação do valor absoluto que ocorre nos desvios, assim como o ângulo de direção lateral (+ ou -), se desvia para a direita (+) ou para a esquerda (-), segundo uma vertical teórica do furo, com vista por detrás da bancada.
- Projeção do desvio na inclinação (Y), desvio frontal, com a determinação do valor absoluto que ocorre nos desvios assim como o ângulo de inclinação frontal (+ ou -), se desvia para a frente (+) ou para a retaguarda (-) segundo uma perspectiva teórica do furo, que neste caso é de cerca de 8º, para a frente.

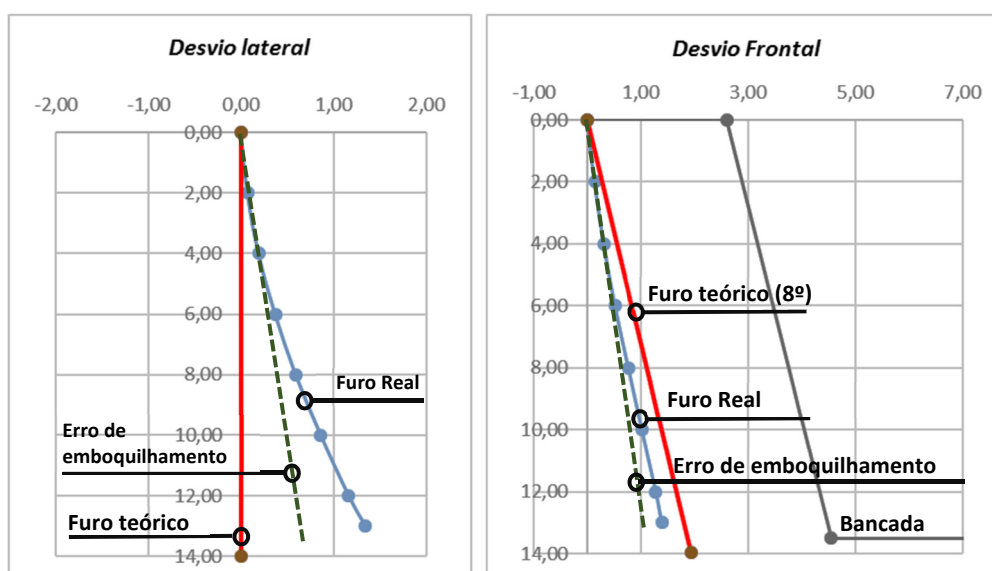


Figura 69-Exemplo de desvios lateral e frontal considerados por erro de emboquilhamento. Verificado no furo 8 (Powerbit), da PF2, na bancada nº 6, da pedra de Serdedelo em Ponte de Lima, registado pelo Boretrak no dia 05/07/2017.

O erro de emboquilhamento, foi considerado, o resultado do valor medido pelo boretrak no primeiro troço do furo (2 m). As leituras realizadas em 31.05.17 (PF1), 05.07.17 (PF2) e 12.09.17(PF3) nas respetivas bancadas, foram realizadas de 2 em 2 metros em cada um dos furos. Na figura 69 verifica-se que a trajetória resultante do erro de emboquilhamento na superfície, provoca logo à partida um acréscimo de incerteza face à nova trajetória que irá percorrer, desajustando à partida todo um projeto estabelecido e conduzindo a resultados imprevistos, com reflexo na diminuição na qualidade pretendida.

4.11. Desvios ocorridos pela flexão

Também neste tipo de desvio, motivado pela flexão dos acessórios de perfuração em conjugação com a matriz rochosa, são consideradas as seguintes projeções:

- Projeção do desvio na direção (X), desvio lateral, numa análise em toda a extensão do furo, com a determinação do valor os desvios no eixo do X (+ ou -), se desvia para a direita (+) ou para a esquerda (-) segundo uma vertical teórica do furo, com vista por detrás da bancada.
- Projeção do desvio na inclinação (Y), desvio frontal, com a determinação do valor absoluto que ocorre nos desvios assim como o ângulo de inclinação frontal (+ ou -, se desvia para a frente (+) ou para a retaguarda (-) segundo uma perspectiva teórica do furo, que neste caso é de cerca de 8º, para a frente.

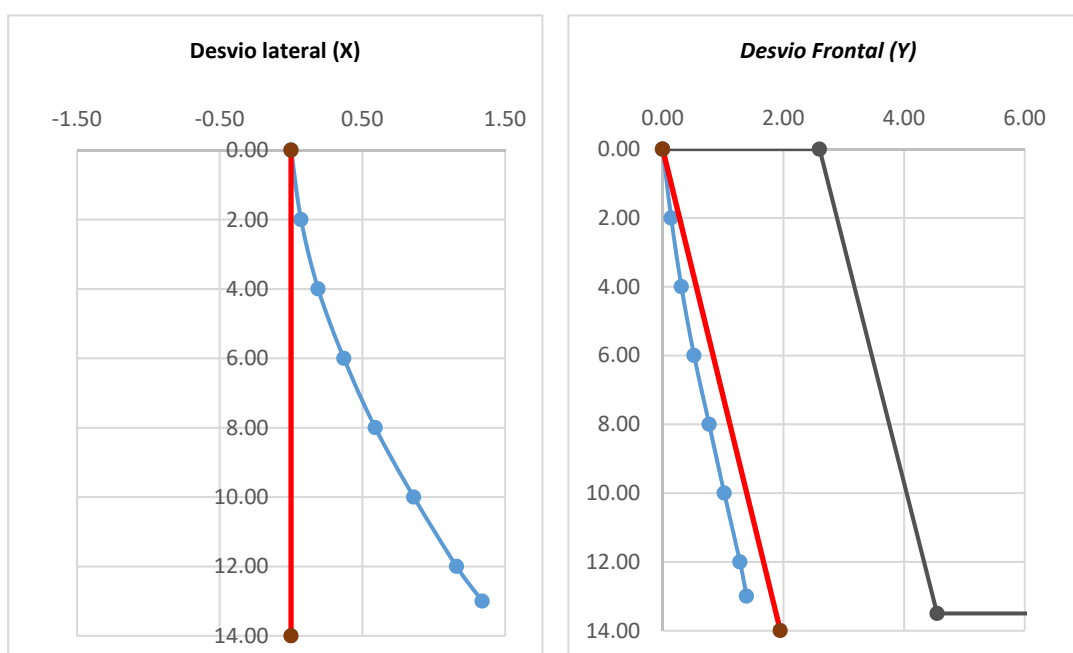


Figura 70- Exemplo de desvios lateral e frontal considerados por flexão, verificado no furo 8 (Powerbit), da PF2, na bancada nº 6, da pedreira de Serdedelo em Ponte de Lima, registado pelo Boretrak no dia 05/07/2017.

É observável, na figura 70, que o desvio de direção lateral por flexão para a direita (+), que ocorre em toda a trajetória do furo com maior significado mais próximo do fundo do furo, sendo aos cerca de 13,5 m, de aproximadamente 1,34 m, enquanto na projeção frontal o desvio manifesta-se para a retaguarda (-), em cerca de 0,48 m, relativo à perspectiva teórica do furo de projeto de 8º.

É importante referir que este furo, o furo 8 da PF2, foi emboquilhado incorretamente, tanto ao nível da direção (2º), como na inclinação (4º), o que altera a trajetória do furo nos dois planos de análise ao comparar com o furo de projeto(8º). Neste caso, se o erro de emboquilhamento for eliminado, ou seja, considerarmos que o ângulo de direção (X) denominado por roll(X) e o ângulo de inclinação(Y) denominado por pitch(Y), são o que realmente se pretendia praticar, ponto abordado num capítulo posterior, podemos concluir que o desvio de flexão no plano lateral seria menor, assim como, a trajetória do furo no plano frontal, seria bastante retilínea.

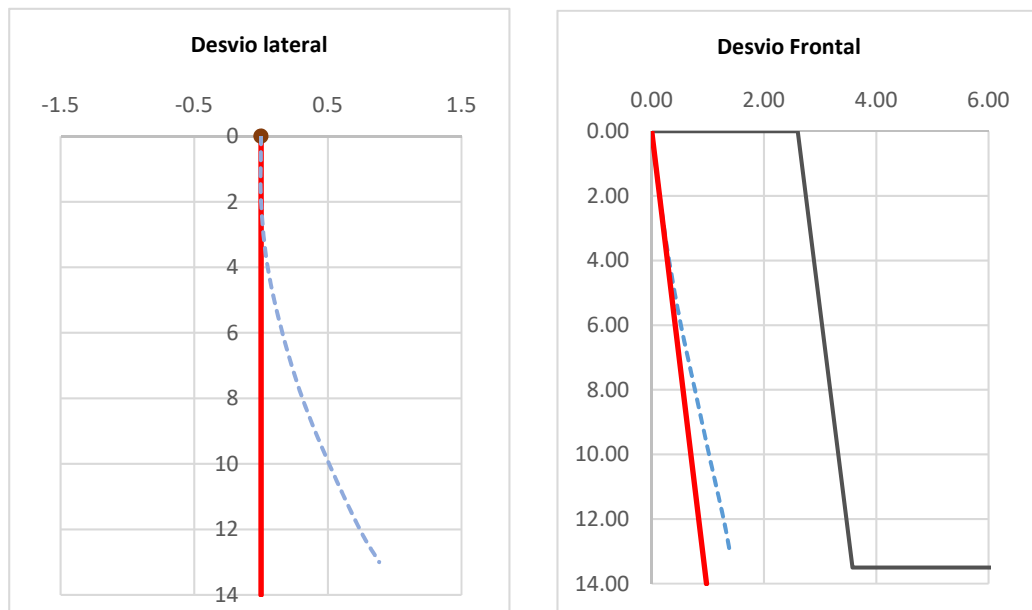


Figura 71- Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por flexão, verificado no furo 8 (Powerbit), da PF2, caso o erro de emboquilhamento seja eliminado.

É observável, na figura 71, que o desvio de direção lateral por flexão para a direita (+), que ocorre em toda a trajetória do furo com maior significado mais próximo do fundo do furo, aos cerca de 13,5 m, reduz de 1,34 m para 0,9 m, enquanto na projeção frontal o desvio manifesta-se para a frente (+), do suposto furo teórico de 4º (ângulo de emboquilhamento) e mantém-se com o mesmo valor de desvio, de 0,48 m.

A título de exemplo, ao escolher um furo da PF2, em que o emboquilhamento tenha sido muito próximo ao pretendido em projeto (direção (x) de 0º e inclinação(y) de 8º), podemos verificar que a trajetória do furo nos dois planos de análises é quase retilínea e o desvio de flexão ao longo do furo nos dois planos de análise (figura 70) não é exponencial.

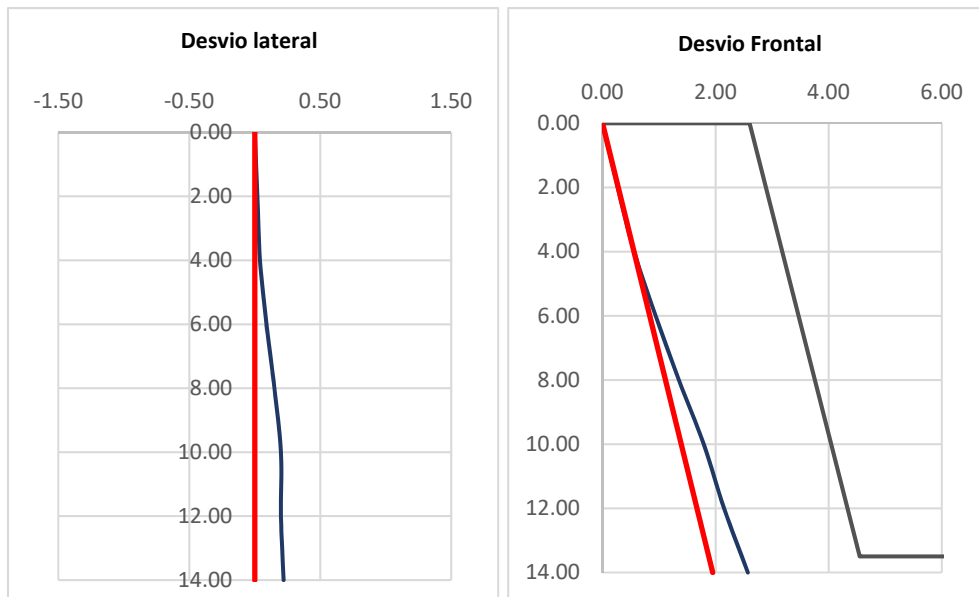


Figura 72- Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por flexão, verificado no furo 44 (Powerbit), da PF2, na bancada nº 6, da pedreira de Serdedelo em Ponte de Lima, registado pelo Boretrak no dia 05/07/2017

É observável, na figura 72, que o desvio de direção lateral por flexão para a direita (+), que ocorre em toda a trajetória do furo, embora com menos significado que no furo 8 anteriormente analisado, é de 0,22 m, enquanto na projeção frontal o desvio manifesta-se para a frente (+), do de projetos (8º), com um valor de 0,62m.

4.12. Resultados obtidos no emboquilhamento

Há dois importantes fatores a ter em conta na análise do emboquilhamento (direção e inclinação):

- ✓ O primeiro fator é que, como já foi dito anteriormente o Roc não possui inclinómetro e como tal não consegue definir com precisão o ângulo do furo de projeto desejado;
- ✓ O segundo fator e consequente do anterior é que o operador pratica ângulos inferiores a 8º graus (inclinação), por vezes 3 a 4 vezes inferior, por uma questão de segurança, principalmente quando se trata da 1ª fiada, a mais próxima a frente livre.

Nas imagens abaixo (figura 73 e 74), nota-se que os furos foram realizados com diferentes ângulos de emboquilhamento, principalmente no plano frontal, inferiores a 8º.

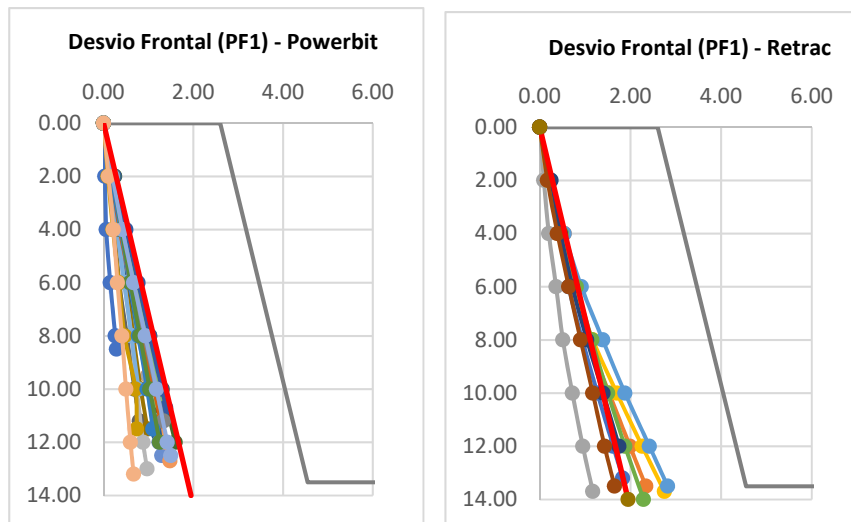


Figura 73-Projeção dos furos da PF1 em corte, com o bit powerbit(esquerda) e o bit retrac (direita), em que o furo projeto (8º) esta representado a vermelho.

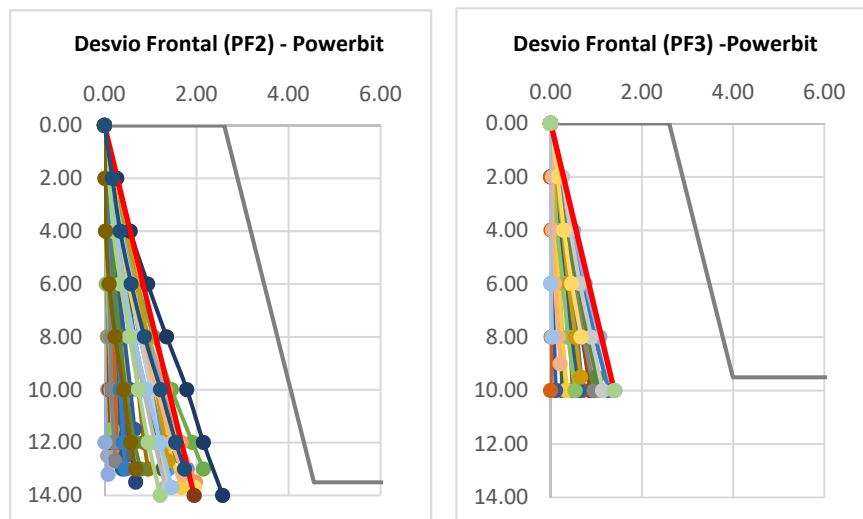


Figura 74-Projeção dos furos da PF2 (esquerda) e PF3 (direita) em corte em que o furo projeto (8º) esta representado a vermelho.

Como já referido, a inclinação furo de projeto é de 8º, com o ângulo Roll(X) de 0º e o ângulo Pitch(Y) de 8º, o que na realidade, devido a falta de instrumentação do equipamento, esse ângulo não foi concretizado (quadro 53). Numa visão geral das três pegas de fogo realizadas, a média do ângulo Roll(X) foi de 1,32º e o ângulo Pitch foi de 4º (figura 75), o que permite constatar que no plano lateral (X) os furos foram emboquilhados com uma média de 1,32º para a direita. No plano frontal (Y) os furos foram emboquilhados, com uma média de 4º, ou seja, com ângulos menores aos requeridos, sendo uma decisão por parte do operador, conservadora, visto que não tinha meios de monitorização que o auxillassem, optando assim pela segurança.

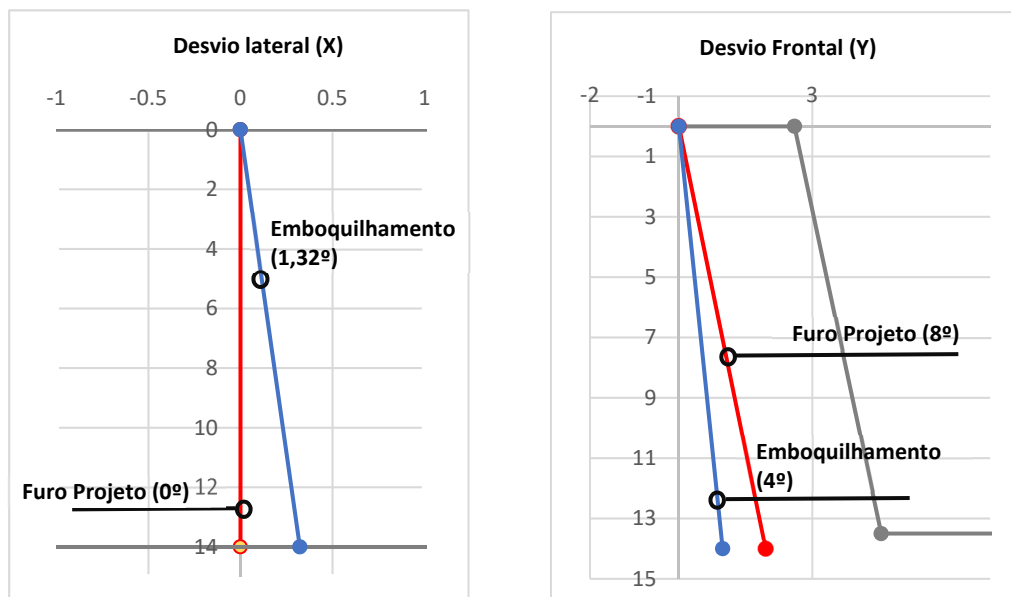


Figura 75-Representação da média do emboquilhamento (azul) e do furo de projeto (a vermelho) nos dois planos de análise, plano lateral(X) e plano frontal (Y).

Quadro 53- Roll(x) e Pitch(y) das três pegas de fogo estudadas.

Pega	Roll (x) projeto	Média Roll(x)	Intervalo Roll (x)	Pitch(y) projeto	Média Pitch(y)	Intervalo Pitch(y)
1	0	1,29	[-2,67-5,91]	8	5,08	[-0,88-7,18]
2	0	1,31	[-2,19-4,45]	8	3,22	[-0,36-7,81]
3	0	1,37	[-2,08-4,24]	8	3,67	[-0,98-7,24]
Geral	0	1,32	[-2,67-5,91]	8	4,00	[-0,98-7,81]

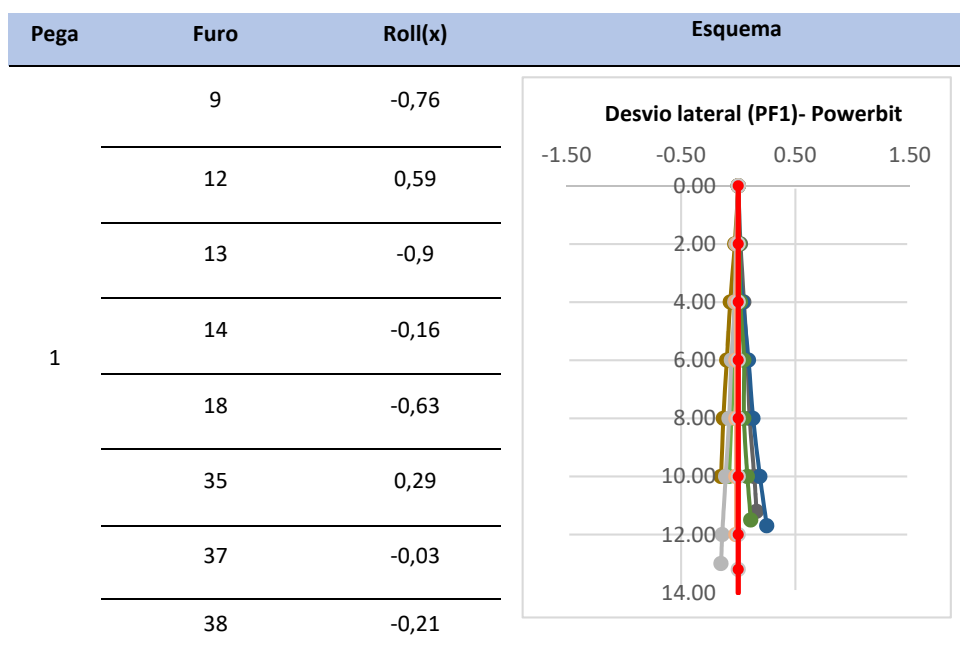
4.12.1. Análise das Trajetórias dos furos com correto emboquilhamento

Nos quadros abaixo, estão representados furos da PF1, executados com ambas as ferramentas, o bit Powerface da gama Powerbit e o bit Retracs flat face da Duromin, que demonstram a trajetória do furo quando estes são emboquilhados com os ângulos muito próximos dos pretendidos, pitch(8°) e roll(0°).

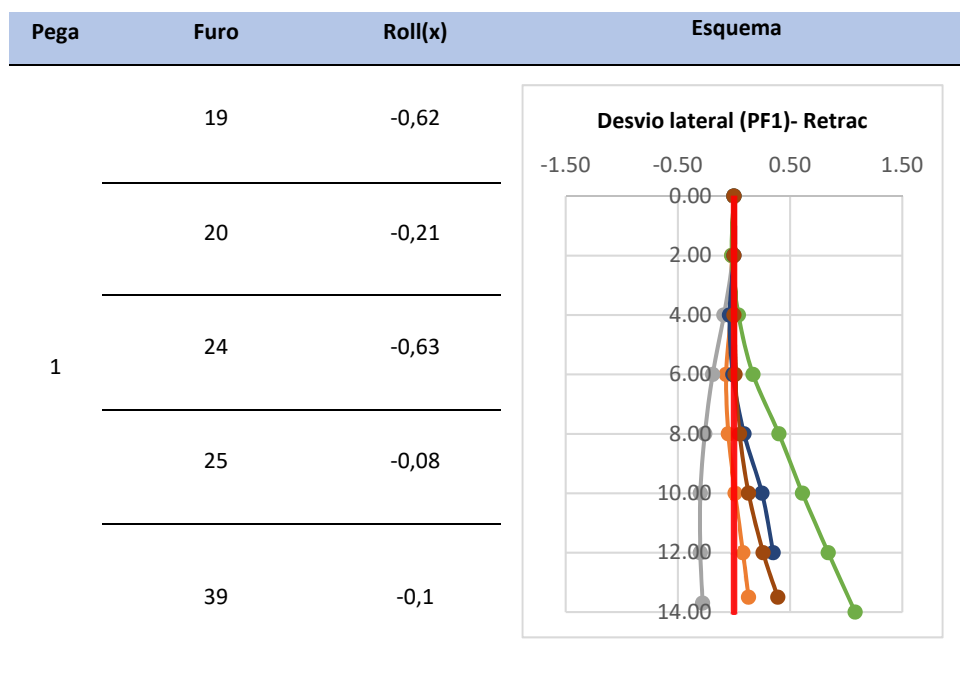
O critério de seleção do furo para esta demonstração é o ângulo de emboquilhamento estar compreendido entre 6° e 8° relativamente ao ângulo pitch (Y) e num intervalo de -1 a 1° relativamente ao ângulo roll (X). Devido a situações em que determinados furos apresentam um correto ângulo de emboquilhamento relativo ao ângulo roll (X), mas o mesmo furo apresenta incorreto emboquilhamento relativo ao ângulo pitch (Y), ou vice-versa, esta análise é feita individualmente no plano lateral (direção) e no plano frontal (inclinação).

No quadro 54, é perceptível a linearidade que as trajetórias dos furos com o powerbit apresentam no plano lateral (X), com um reduzido desvio de flexão (0 a 0,25m), comparativamente ao Retracs apresentado no quadro 55, com um desvio de flexão lateral significativo (-0,28 a 1,08 m).

Quadro 54- Desvios dos furos com powerbit da PF1 em que os ângulos relativos as direções, no plano lateral, se encontram dentro do intervalo estabelecido.



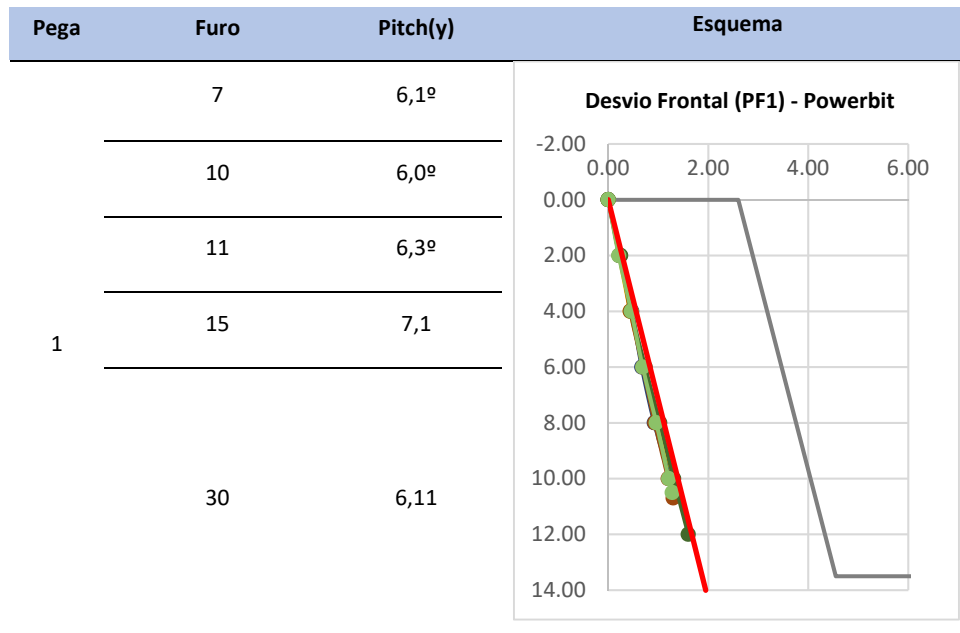
Quadro 55- Desvios laterais dos furos com Retrac da PF1 em que os ângulos relativos as direções, se encontram dentro do intervalo estabelecido.



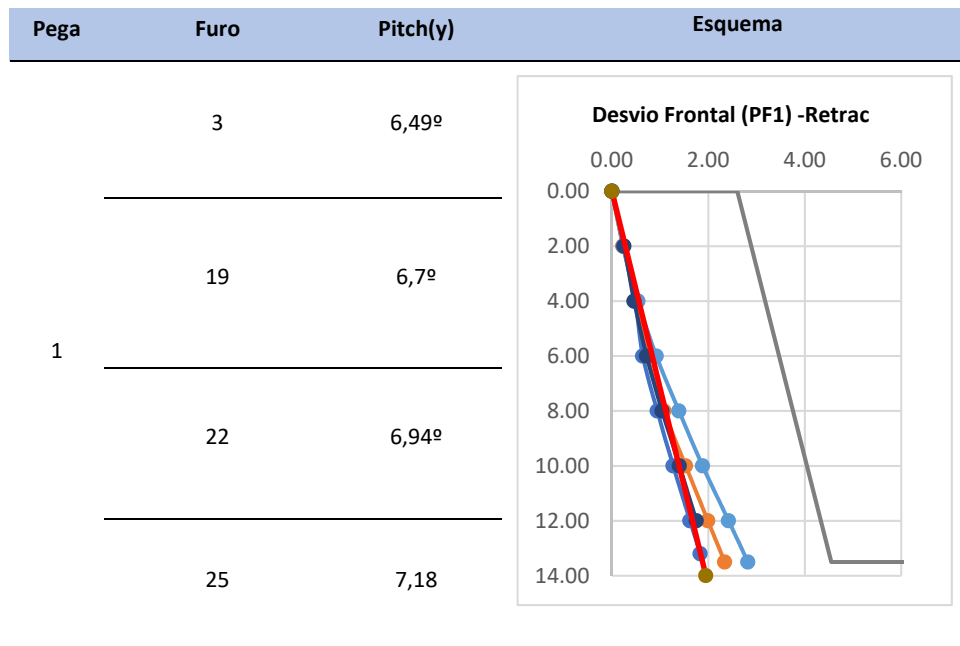
No quadro 56, nota-se que também há linearidade na trajetória dos furos executados com o Powerbit, no plano frontal e não há praticamente flexão. O desvio que ocorre é devido ao furo não ser emboquilhado precisamente com 8º, o que se traduz num valor de cerca de 0,07 a 0,20

m de desvio em relação ao furo de projeto de 8°. Ao contrario do Retraco (quadro 57), que apresenta desvios de flexão na ordem dos 0,08 a aproximadamente 1 m.

Quadro 56- Desvios frontais dos furos da PF1 com o powerbit em que os ângulos relativos as inclinações, se encontram dentro do intervalo estabelecido.



Quadro 57- Desvios frontais dos furos da PF1 com o retraco em que os ângulos relativos as inclinações, se encontram dentro do intervalo estabelecido.



4.12.2. Análise dos desvios furo a furo

Como já foi referido, é possível apontar possíveis causas para o comportamento da trajetória do furo, como um desajustado posicionamento no que se refere ao emboquilhamento ao qual acresce o desvio por ação da flexão, promovendo maiores desvios no decorrer da trajetória, assim como resultará um mau posicionamento no fundo do furo.

Devido aos furos na sua maioria apresentarem erros de emboquilhamento, para uma justa análise dos desvios ao longo do furo, estudou-se cada furo isoladamente com o objetivo de eliminar o erro de emboquilhamento e observar uma nova trajetória inicial que não sofre influência do emboquilhamento tanto para a perspectiva de direção (X), como na perspectiva da inclinação (Y), notando que a partir de determinada profundidade surge a influência da flexão nas duas perspectivas (X, Y).

Considerou-se assim o furo teórico para cada furo, o ângulo de emboquilhamento real nos dois planos (X e Y), ou seja, cada furo tem ângulos de emboquilhamento diferentes e com isso consequentemente vão ser analisados individualmente comparativamente ao seu furo teórico.

É simulado assim um novo furo (Figura 76) com a trajetória definida sem interferência dos valores do emboquilhamento (roll (X) e Pitch(Y)), onde é projetado um furo mais alinhado com a conceção teórica.

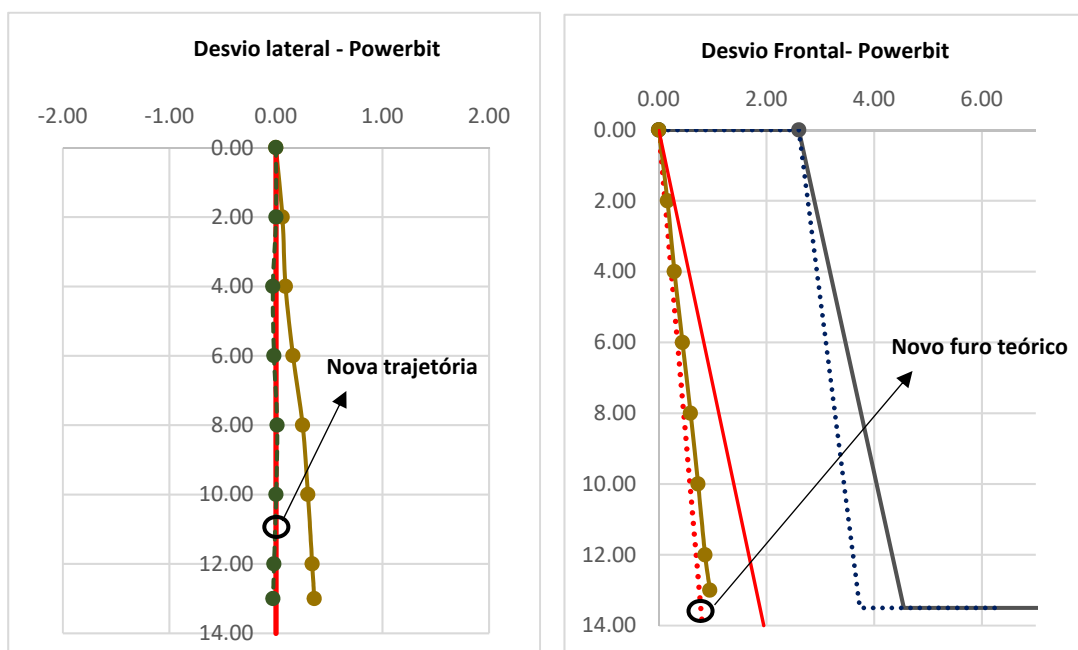


Figura 75- Desvio lateral (X) e frontal(Y) do furo 19, da PF2, com a simulação de novo furo teórico com o mesmo ângulo que o emboquilhamento do furo analisado.

Ao considerar o emboquilhamento como o novo furo teórico, admite-se que o ângulo com que o operador furou era o pretendido, eliminando o erro associado ao incorreto emboquilhamento. Os desvios são recalculados segundo o ângulo de emboquilhamento nos dois planos (X e Y) e são estes resultados que vão ser alvo de tratamento, análise, estudo e comparação com os resultados dos desvios de outras ferramentas, neste caso outros bits, consideradas as ferramentas tradicionais, como é o caso do bit Retraco ensaiado em conjunto com o bit Powerface na PF1 e também com o bit Retraco (Drop center e Flat face) e o bit Standart (flat face) da Sandvik estudados em 2008 por Ramos e Fonseca, na pedreira de Serdedelo, Ponte de Lima.

4.13. Resultados

Devido a só serem executados furos com o bit Retraco na PF1, o que não é suficiente para comparar com os furos executados com o powerbit em três pegadas, foram analisados todos os dados dos desvios de perfuração (Anexo VI e VIII), do ano de 2008, da dissertação de Ramos e Fonseca, cujos temas se centram na avaliação das ferramentas de perfuração com intuito de analisar o rendimento e a qualidade destas. O estudo da data de 2008 também se realizou na pedreira de Serdedelo, Ponte de Lima, ou seja, no mesmo ambiente geológico-geotécnico.

Para uma justa comparação, foram realizados alguns acertos na base de dados, GeoHoledata (2008), que consistiram nos seguintes:

- Filtrou-se os dados correspondentes as ferramentas pretendidas, eliminando dados que correspondiam a perfuração executada com varas guias, não sendo essas varas utilizadas com o powerbit;
- A profundidade dos furos também foi filtrada ao nível dos 14 metros.

Com este ajuste, procedeu-se ao tratamento dos dados e respetivas comparações. Por outro lado, como a perfuração executada em 2008, foi com um Roc instrumentado, que permitia monitorizar a direção e inclinação pretendida, não foi realizada a análise furo a furo com ajuste do emboquilhamento. No caso dos ângulos de emboquilhamento não cumprissem um intervalo de 2º é que se realizaria a análise furo a furo. No quadro 58 podemos verificar que os ângulos de direção (x) e inclinação(x) foram cumpridos relativamente ao de projeto.

Quadro 58- Roll(x) e Pitch(y) da perfuração executada em 2008.

Bit	Roll (x) projeto	Média Roll(x)	Pitch(y) projeto	Média Pitch(y)
Retrac flat face	0	2	12	12
Retrac drop center	0	2	[10-12]	11
Standart flat face	0	2	[10-12]	12
Geral	0	2	[10-12]	12

4.13.1. PF1

Com o objetivo de comparar as duas ferramentas, a nova ferramenta e a tradicional, o bit Powebit e o bit Retracs flat face, no mesmo maciço rochoso, ou seja, no mesmo cenário geológico geotécnico, foi realizada uma pega (PF1), em que determinados furos foram executados com uma ferramenta e os restantes com outra.

Na imagem da Figura 77 estão projetados com vista em planta os furos executados com o Powerbit e na figura 78 estão projetados com vista em planta os furos executados com o Retracs, com o intuito de perceber o posicionamento final do furo, bem como perceber o erro a essa profundidade face ao teórico previsto.

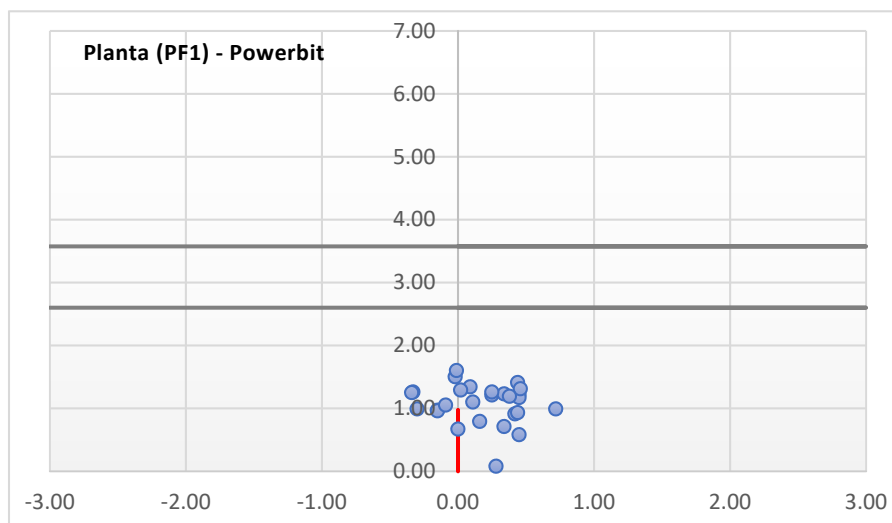


Figura 76- Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Powerbit, da PF1.

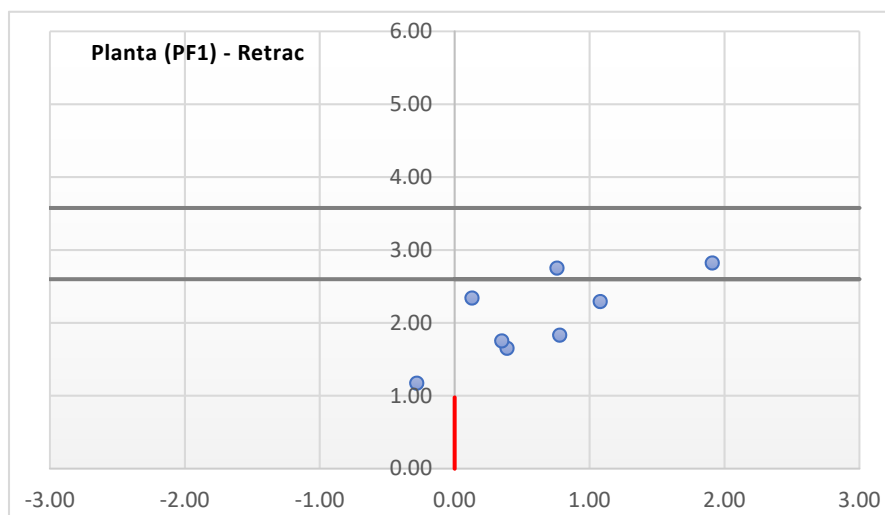


Figura 77- Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Retracs, da PF1.

Na componente dos desvios há dois parâmetros que podem ser conhecidos e servir de indicadores quanto há eficácia da perfuração, obtidos pelas leituras das trajetórias dos furos e sendo esses os parâmetros seguintes:

- **Precisão** – Resultado da perfuração, com a leitura no fundo dos furos à mesma cota, cujo resultado pretendido será ter essas posições no mesmo quadrante e numa área o mais resumida possível, no limite que seja um único ponto;
- **Dispersão** -Resultado da perfuração, com a leitura no fundo dos furos à mesma cota, onde as posições são consideradas dispersas pelos quadrantes ou por mais que um quadrante.

Com isto, percebe-se que os furos executados com o Retraco são mais dispersos e menos precisos que os furos executados com o powerbit.

Ao representar os furos nos esquemas correspondentes, à vista frontal da bancada (desvios laterais) e perfil da bancada (desvios frontais) é perceptível que os furos executados com o Powerbit são mais retilíneos que os furos executados com o Retraco, detendo estes uma maior flexão (figura 79 e 80). Para esta representação foi recalculado um furo médio teórico (4º), com base na média dos ângulos de emboquilhamento, visto que na análise dos desvios, o erro de emboquilhamento foi eliminado.

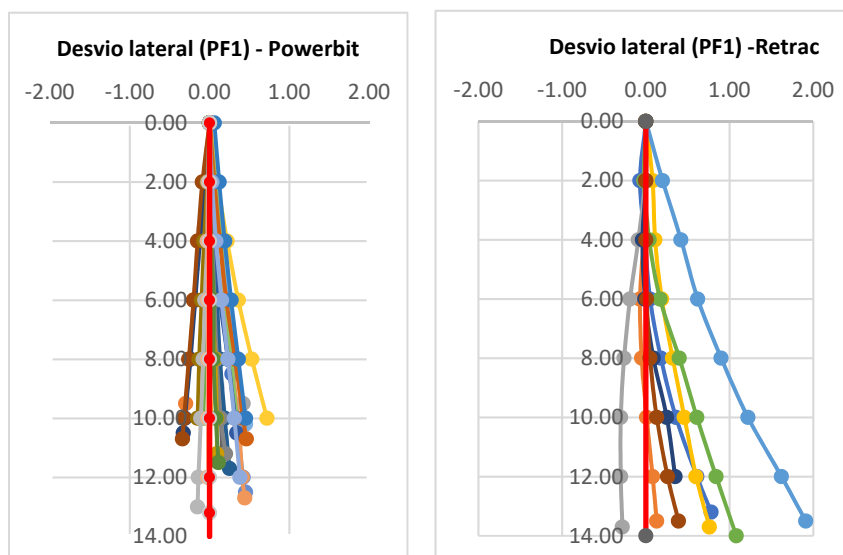


Figura 78-Desvios de perfuração no plano de análise lateral(X), do powerbit (esquerda) e Retraco (direita).

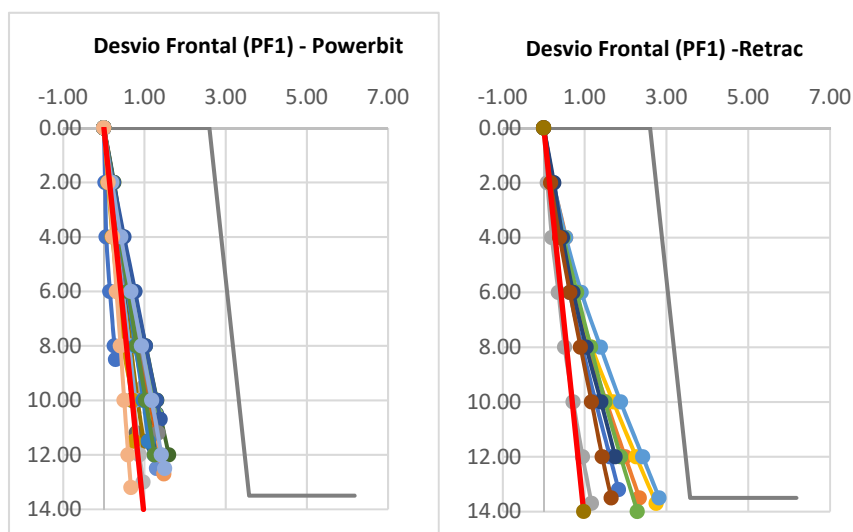


Figura 79 -Desvios de perfuração no plano de análise Frontal (Y), do powerbit (esquerda) e Retrac (direita).

Embora a representatividade correspondente ao numero de furos não seja idêntica (quadro 59), pode concluir-se que o bit Powerbit apresenta menores desvios (X e Y) ao longo do furo (figura 81 e 82), comparativamente ao Retrac.

Quadro 59-Média dos valores de desvios(m) em profundidade nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Retrac da PF1.

		Média dos valores de desvios por patamar (m)			
Bit		Powerbit		Retrac	
Nº Furos		27		8	
Representatividade (%)		77		23	
Desvio		X	Y	X	Y
H (m)	2	0	0	0	0
	4	0,02	0,02	0,05	0,06
	6	0,05	0,04	0,09	0,12
	8	0,07	0,08	0,18	0,23
	10	0,1	0,12	0,3	0,4
	12	0,11	0,11	0,45	0,59
	14	0,11	0,13	0,59	0,82

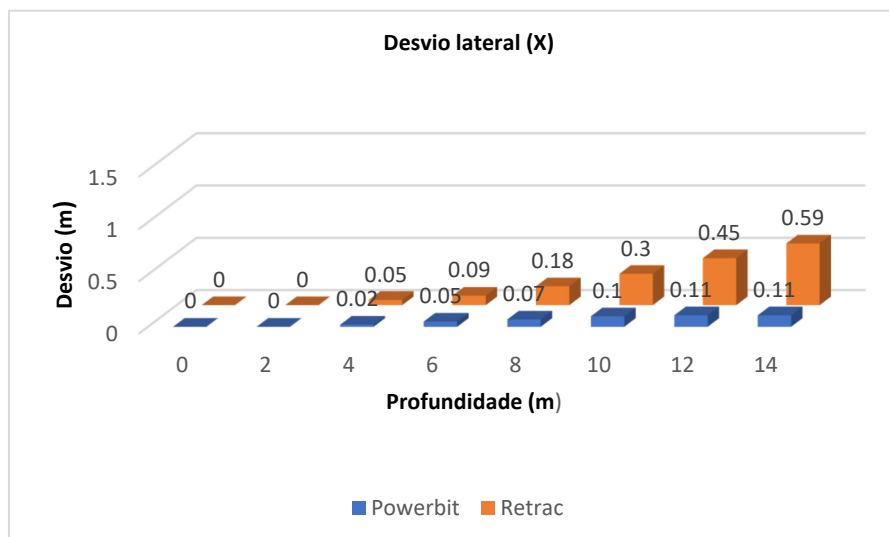


Figura 80-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Retrac da PF1.

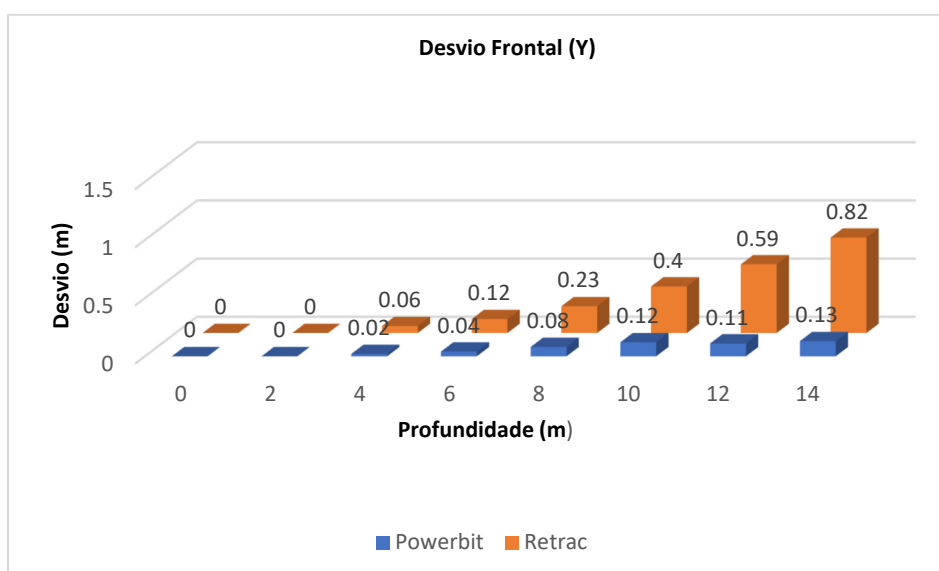


Figura 81-Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) em profundidade, do Powerbit e Retrac da PF1.

Uma outra análise que permite comparar o desvio resultante dos dois eixos (X e Y), é através do calculo do vetor soma desses dois eixos. No quadro 60 confirma-se que a resultante do desvio é menor no powerbit, comparativamente ao Retrac.

Quadro 60-Comparação do desvio total do Powerbit e Retrac.

Resultante dos dois desvios (X e Y)	
Bit	Desvio (m)
Powerbit	0,08
Retrac	0,37

Relativamente aos desvios em metro/metro de perfuração linear (quadro 61), o powerbit tem um desvio lateral (X) e frontal (Y) menor comparativamente ao Retraco flat face.

Quadro 61- Comparação do desvio lateral e frontal em metro/metro de perfuração, do Powerbit e Retraco flat face.

		Desvio em metro/metro de perfuração			
		Desvio lateral (X)		Desvio Frontal(Y)	
Bit	Powerbit	0,01	m/m	0,01	m/m
	Retrac flat face	0,04	m/m	0,06	m/m

4.13.2. Powerbit Vs Retrac Dropcenter 2008

Na imagem da figura 84 estão projetados com vista em planta os furos executados nas 3 pegas de fogo, com o powerbit e na figura 85 estão projetados com vista em planta os furos executados com o Retrac Drop center na data 10/09/2008.

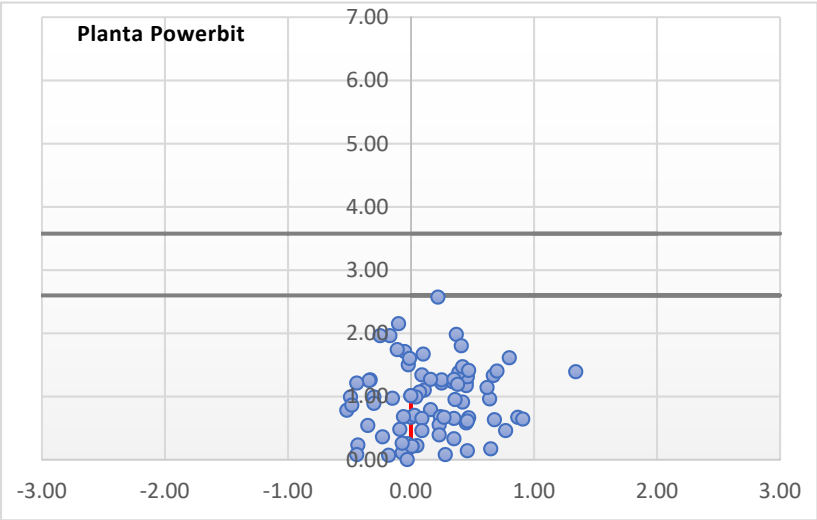


Figura 83- Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Powerbit nas três pegas de fogo.

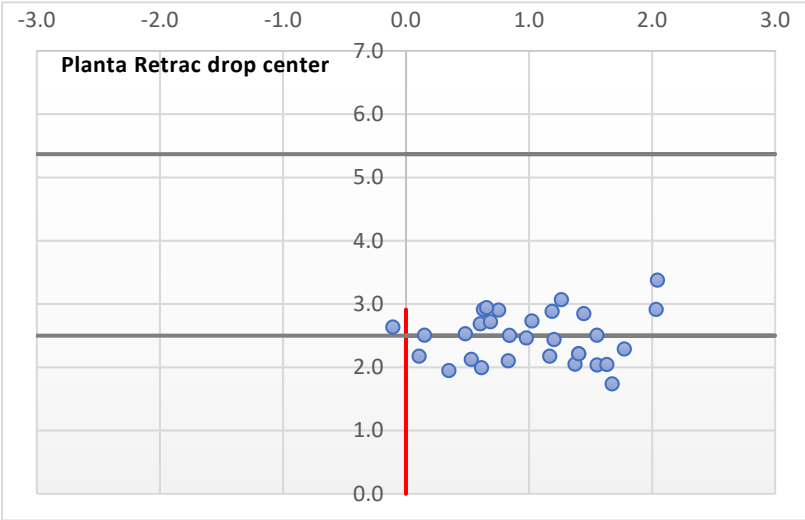


Figura 84-Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Retrac drop center, na data de 10/09/2008.

Pode-se concluir-se que o Powerbit apresenta menores desvios laterais (X) do que o Retraco drop center, tendo este uma tendência de desviar lateralmente para o lado direito, o que não acontece no Powerbit, apresentando este uma projeção mais centrada e melhor distribuída lateralmente. Nota-se, que os furos executados com o Retraco drop center apresentam uma maior dispersão e menor precisão que os furos executados com o powerbit.

Relativamente aos desvios laterais (X), é notável que o Powerbit consegue combater melhor esses desvios que o Retraco, enquanto que nos desvios frontais (Y) o Powerbit tem um comportamento médio melhor até aos 10m, sendo que entre os 10m e os 14m, iguala os desvios do Retraco dropcenter (quadro 62 e figura 86 e 87)

Quadro 62- Média dos valores de desvios(m) em profundidade, nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Retraco drop center de 2008.

		Média dos valores de desvios por patamar (m)			
Bit		Geral Powerbit (2017)	Geral Powerbit (2017)	Retrac - Drop center (2008)	Retrac - Drop center (2008)
Nº furos		88		31	
Representatividade (%)		74		26	
Desvio		X	Y	X	Y
H (m)	2	0,00	0,00	0,09	0,04
	4	0,02	0,03	0,22	0,06
	6	0,05	0,05	0,33	0,11
	8	0,08	0,09	0,47	0,14
	10	0,13	0,15	0,63	0,21
	12	0,19	0,28	0,81	0,27
	14	0,24	0,37	1,03	0,36

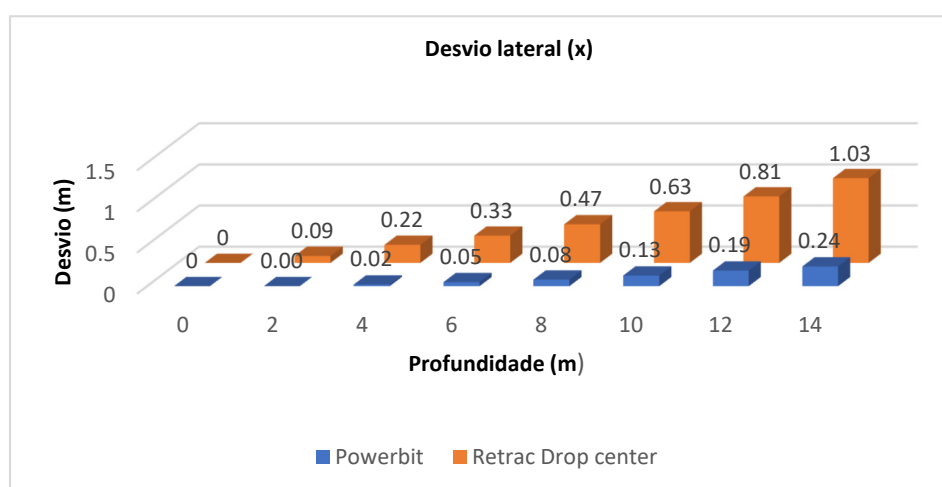


Figura 85-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Retraco drop center (2008).

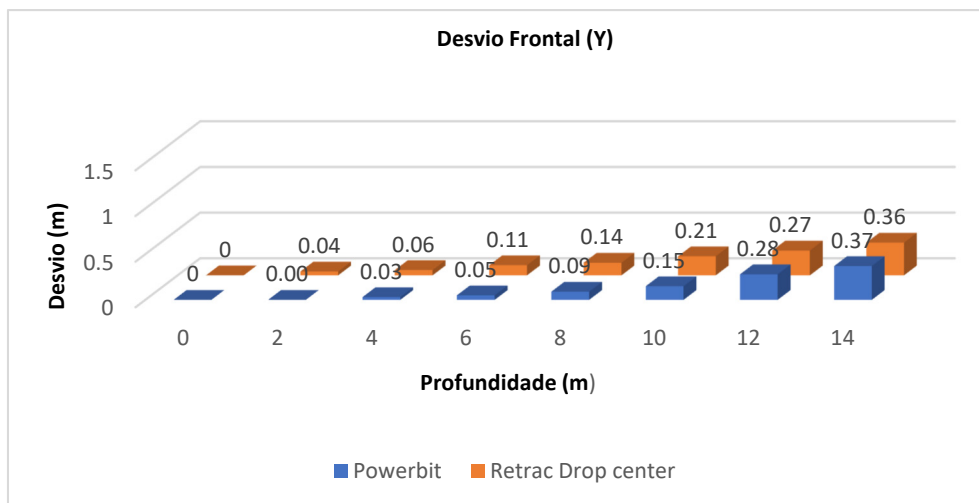


Figura 86-Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) em profundidade, do Powerbit e Retractable drop center (2008).

No quadro 63, conclui-se que o powerbit reduz os desvios, comparativamente ao Retractable drop center.

Quadro 63- Comparação do desvio total do Powerbit e Retractable Drop center.

Resultante dos dois desvios (X e Y)	
Bit	Desvio (m)
Powerbit	0,12
Retrac drop center	0,55

Relativamente aos desvios em metro/metro de perfuração linear (quadro 64), o Powerbit tem um desvio lateral (X) menor do que o Retractable drop center, enquanto que o desvio frontal é no geral aproximadamente o mesmo.

Quadro 64- Comparação do desvio lateral (X) e frontal (Y) em metro/metro de perfuração, do Powerbit e Retractable Drop center (2008).

		Desvio em metro/metro de perfuração			
		Desvio lateral (X)		Desvio Frontal(Y)	
Bit	Powerbit	0,01	m/m	0,02	m/m
	Retrac Dropcenter	0,07	m/m	0,03	m/m

4.13.3. Powerbit Vs Retrac flat face

Na imagem da figura 88 estão projetados com vista em planta os furos executados com o Retrac flat face na data 12/07/2008.

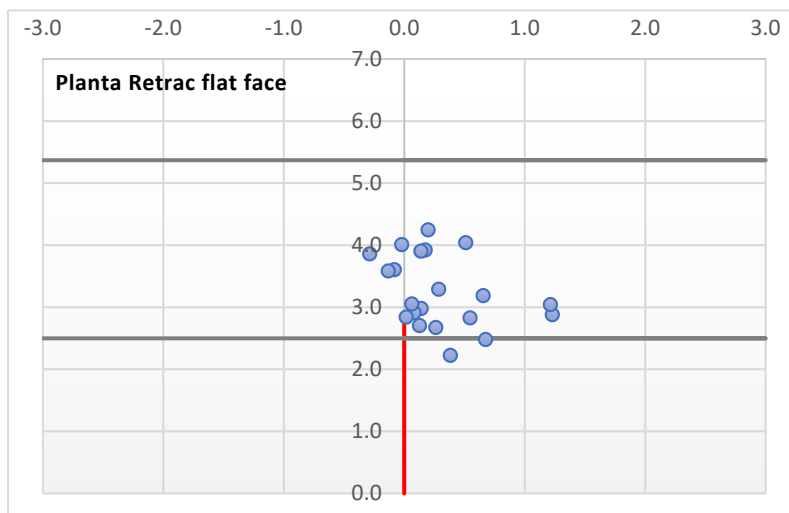


Figura 87-Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Retrac flat face, na data de 12/07/2008.

Com esta projeção em planta dos furos, conclui-se que o Retrac flat face tem desvios frontais (Y) maiores que o Powerbit e com tendência de desviar lateralmente (X) para a direita, o que não acontece no Powerbit, apresentando este uma projeção mais centrada. É notável, que os furos executados com Retrac flat face apresentam uma maior dispersão e menor precisão no plano lateral (X) e no plano frontal (Y), que os furos executados com o Powerbit. Conclui-se que o Powerbit consegue combater melhor os desvios tanto laterais (X), como frontais (Y) que o Retrac flat face (figura 89, 90 e quadro 65).

Quadro 65- Média dos valores de desvios(m) em profundidade, nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Retrac flat face de 2008.

		Média dos valores de desvios por patamar (m)			
Bit		Geral Powerbit (2017)	Geral Powerbit (2017)	Retrac-Flat face (2008)	Retrac-Flat face (2008)
Nº furos		88		21	
Representatividade (%)		81		19	
Desvio		X	Y	X	Y
H (m)	2	0,00	0,00	0,07	0,04
	4	0,02	0,03	0,16	0,10
	6	0,05	0,05	0,20	0,17
	8	0,08	0,09	0,25	0,26
	10	0,13	0,15	0,23	0,36
	12	0,19	0,28	0,28	0,47
	14	0,24	0,37	0,34	0,64

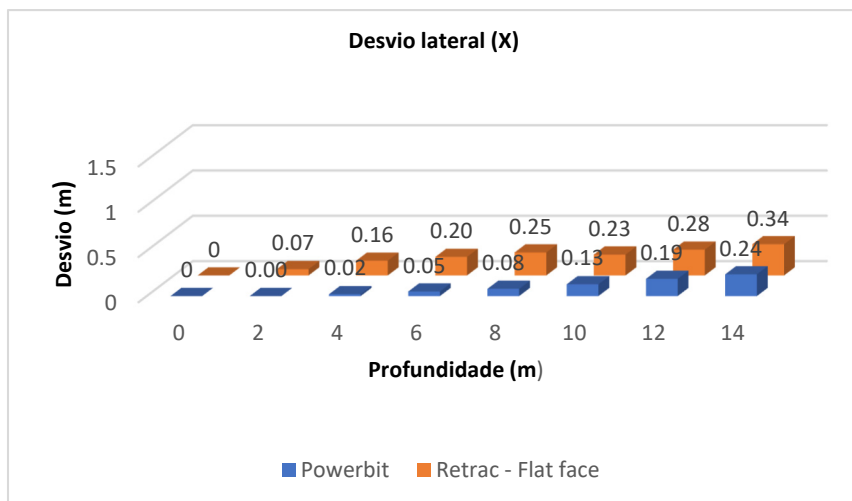


Figura 88-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Retrac flat face (2008).

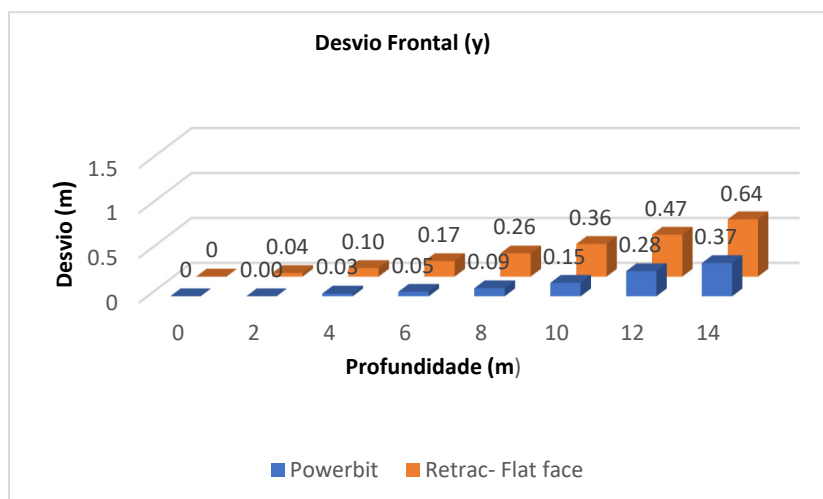


Figura 89- Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) em profundidade, do Powerbit e Retrac flat face (2008).

No quadro 66, apresenta-se os valores da resultante dos desvios, verificando-se deste modo que o powerbit reduz os desvios, comparativamente ao Retrac flat face.

Quadro 66- Comparação do desvio total do Powerbit e Retrac Flat face.

Desvio total incluindo o desvio nos dois eixos (x e y)	
Bit	Desvio (m)
Powerbit	0,12
Retrac flat face	0,42

Relativamente aos desvios em metro/metro de perfuração linear, assegura-se que o powerbit tem menor desvio lateral(x) e frontal(Y) comparativamente ao Retracs flat face (quadro 67).

Quadro 67- Comparação do desvio lateral e frontal em metro/metro de perfuração, do Powerbit e flat face center (2008).

		Desvio em metro/metro de perfuração			
		Desvio lateral (X)		Desvio Frontal(Y)	
Bit	Powerbit	0,01	m/m	0,02	m/m
	Retrac Dropcenter	0,02	m/m	0,05	m/m

4.13.4. Powerbit Vs Standard Flat Face

Na imagem da figura 91 estão projetados com vista em planta os furos executados com o Retracs flat face na data 01/08/2008.

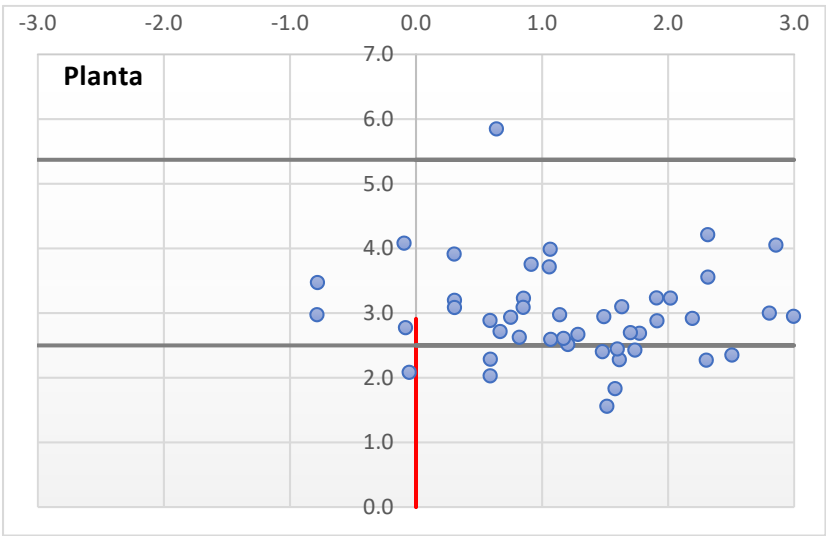


Figura 90-Projeção em planta dos desvios dos furos executados com o Standart flat face, na data de 01/08/2008.

Com esta projeção em planta dos furos, conclui-se que o Standart flat face tem desvios laterais (X) e frontais (Y) maiores que o Powerbit e com tendência de desviar lateralmente (X) para a direita, o que não acontece no Powerbit, apresentando este uma projeção mais centrada. É evidente, que os furos executados com Standart flat face apresentam uma maior dispersão e menor precisão tanto no plano lateral (X) como no plano frontal (Y) que os furos executados com o Powerbit. Conclui-se que o Powerbit consegue combater melhor os desvios frontais(Y), mas principalmente e com maior significado os desvios laterais (X) comparativamente ao Standart flat face (Quadro 68 e figura 92 e 93).

Quadro 68-Média dos valores de desvios(m) em profundidade, nos dois planos de análise (direção e inclinação), do Powerbit e Standart flat face de 2008.

		Média dos valores de desvios por patamar (m)			
Bit		Geral Powerbit (2017)	Geral Powerbit (2017)	Standart – Flat face (2008)	Standart – Flat face (2008)
Nº furos		88		49	
Representatividade (%)		64		36	
Desvio		X	Y	X	Y
H (m)	2	0,00	0,00	0,09	0,08
	4	0,02	0,03	0,21	0,14
	6	0,05	0,05	0,33	0,21
	8	0,08	0,09	0,49	0,27
	10	0,13	0,15	0,71	0,36
	12	0,19	0,28	1,00	0,43
	14	0,24	0,37	1,34	0,51

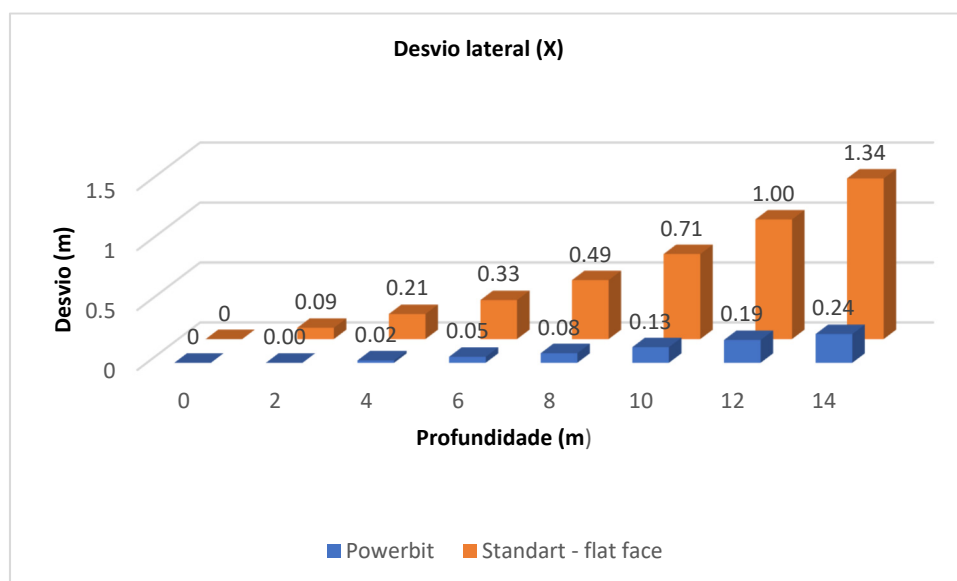


Figura 91-Comparação da média dos valores de desvios lateral (X) em profundidade, do Powerbit e Standart flat face (2008).

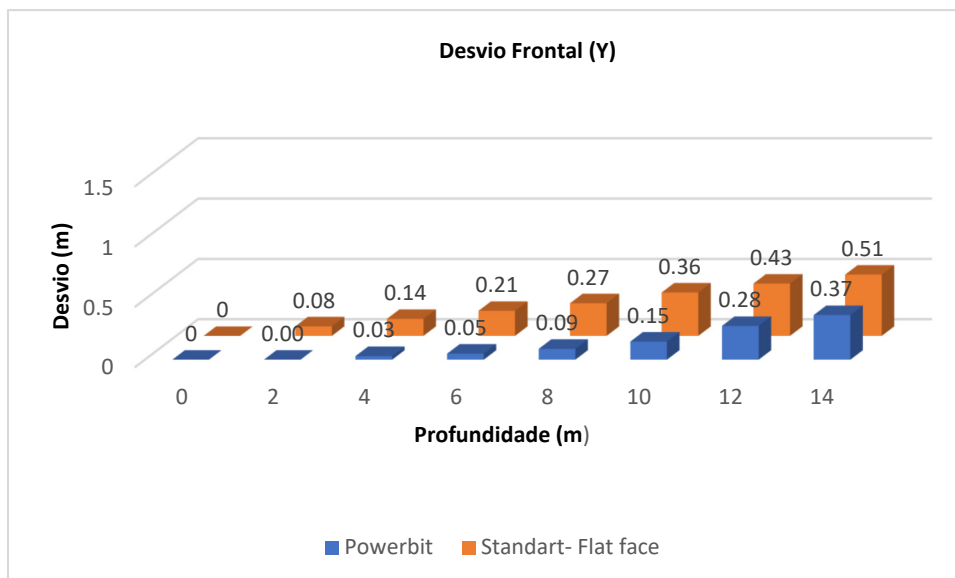


Figura 92-Comparação da média dos valores de desvios frontais (Y) por patamar, do Powerbit e Standart flat face (2008).

No quadro 69, apresenta-se os valores da resultante dos desvios, verificando-se deste modo que o powerbit reduz os desvios, comparativamente ao Standart flat face.

Quadro 69- Comparação do desvio total do Powerbit e Retraco Flat face.

Desvio total incluindo o desvio nos dois eixos (x e y)	
Bit	Desvio (m)
Powerbit	0,12
Standart flat face	0,72

Relativamente aos desvios em metro/metro de perfuração linear, assegura-se que o powerbit tem menor desvio lateral(X) e frontal(Y) comparativamente ao Standart flat face (quadro 70).

Quadro 70- Comparação do desvio lateral(X) e frontal(Y) em metro/metro de perfuração, do Powerbit e Standart flat face (2008).

		Desvio em metro/metro de perfuração			
		Desvio lateral (X)		Desvio Frontal(Y)	
Bit	Powerbit	0,01	m/m	0,02	m/m
	Standart flat face	0,10	m/m	0,04	m/m

4.14. Consequência do desgaste dos bits ao longo dos metros perfurados

É importante notar que foi utilizado um bit novo, para cada pega de fogo, assim como não foram perfurados metros suficientes (quadro 71) para estudar o processo de afiação, logo não possível tirar conclusões relativamente ao desgaste que este novo bit apresenta ao longo da perfuração. Com isto, não foi possível determinar a vida útil desta ferramenta, assim como a produtividade do ponto de vista da qualidade entre afiações.

Como é observável no quadro 71, não há nenhum indicador nos valores apresentados, que nos permita constatar determinada interdependência entre o aumento do desvio e o desgaste da ferramenta (bit), ou seja, não existe evidências do aumento do desvio em função dos metros furados. Como se pode notar o desvio é variável, com aumento e diminuição ao longo da sua utilização.

Quadro 71- Desvio em função dos metros furados.

Pega de fogo	Total metros furados (m)	Metros furados (m)	Média Desvio Resultante (m)
1	297,50	0-50	0,20
		50-100	0,12
		100-150	0,22
		150-200	0,06
		200-250	0,16
		>250	0,15
2	405	0-50	0,46
		50-100	0,85
		100-150	0,27
		150-200	0,80
		200-250	0,44
		250-300	0,33
		300-350	0,51
		>350	0,54
3	258	0-50	0,16
		50-100	0,19
		100-150	0,15
		150-200	0,14
		>200	0,22

4.15. Maciço Rochoso

Relativamente a interferência do maciço rochoso nos desvios de perfuração, não é possível tirar uma aprofundada e fundamentada dedução acerca da influência que este apresenta nos desvios de perfuração, pois ambas as pegas em que foram analisados os desvios (PF1, PF2 e PF3), estão compreendidas na mesma zona geotécnica, ZGIIIa.

As bancadas onde se realizaram as pegas de fogo apresentam o mesmo grau de alteração (W1-2), a mesma abertura (aberta), o mesmo grau de fracturação (F1-F2), com a exceção da PF3 (F2) e a principal família de descontinuidades correspondentes a cada uma, apresentam uma direcção aproximada, sendo diferenciadas por um intervalo de 10 ° e apresentam aproximadamente a mesma inclinação média para o mesmo quadrante (SE), como se pode verificar no quadro 72.

É notável que a PF2, apresenta desvios maiores no plano lateral (X) e frontal (Y) do que a PF1 e PF3, talvez devido a bancada onde foi realizada a PF2 se encontrar a uma cota mais baixa (4º patamar) relativamente as outras duas pegas de fogo que se encontram a uma cota superior (5º e 6º patamar). Por isso, a bancada onde se realizou a PF2 é mais competente o que pode potenciar um aumento dos desvios. Esta dedução é baseada não só na cota a que se encontram as bancadas, mas também na resistência que estas apresentam (quadro 72), onde é notável que a bancada da PF2 apresenta uma resistência superior as outras.

A média dos desvios em ambas as pegas de fogo foi analisada à mesma profundidade (10 m), para uma justa comparação, visto que as pegas de fogo apresentam diferentes comprimentos de perfuração, o que influenciaria a análise.

Quadro 72- Desvios médios (X e Y) à mesma profundidade (10 metros) nas três pegas de fogo e respetiva caracterização geomecânica.

Pega de Fogo	Nº Patamar	Desvio médio (m)		Principal família de descontinuidades		Grau de fracturação	Grau de alteração	Abertura	Resistência (Mpa)
		X	Y	Direção	Inclinação média				
1	5	0,12	0,10	N 35º-45º E	55º SE	F1-F2	W1-2	Aberta	95
2	4	0,15	0,22	N 24º-34º E	58 SE	F1-F2	W1-2	Aberta	107
3	6	0,12	0,10	N 45º-55º E	75 SE	F2	W1-2	Aberta	76

(Página propositadamente em branco)



5.Conclusões

(Página propositadamente em branco)

5. Conclusões

O presente trabalho enquadra-se no âmbito da frequência do mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior do Engenharia do Porto, e foi realizada no âmbito de um protocolo técnico-científico entre o DEG|ISEP a empresa Atlas Copco e a ElevoGroup.

O estudo aqui apresentado tinha como objetivo a análise e comparação de duas tecnologias de perfuração distintas na sua constituição, configuração e desempenho, o bit *Powerface* da gama powerbit da Atlas Copco e o tradicional e usual bit *Retrac* flat face da Duromin, principalmente o impacto que estas ferramentas apresentam na qualidade da sua execução.

Foi selecionada para este estudo, a Pedreira de Serdedelo, em Ponte de Lima, sendo escolhidas seis bancadas, quatro situadas na atual frente de exploração (NE) e duas situadas na frente da esquerda (NW). Por razões maiores a este estudo, apenas se realizou três pegas de fogo em três bancadas distintas, situadas na atual frente de exploração.

Com o objetivo de se obter uma comparação mais verosímil, foi realizada uma primeira pega, em que se utilizou as duas ferramentas que se pretendiam comparar, controlando assim a maior variável que é o maciço rochoso. Nas outras duas pegas, todos os furos foram executados com o bit *Powerface* da Powerbit.

Por insuficiência de dados relativos ao bit *Retrac* flat face da Duromin comparado aos dados obtidos pelo bit *Powerface*, foram alvo de tratamento e análise os dados obtidos com as ferramentas utilizadas em 2008 (Ramos e Fonseca), nomeadamente o bit *Retrac* drop center, o *Retrac* flat face e o *Standart* flat face.

Foi efetuado o reconhecimento geomorfológico, aliada à realização da caracterização geológico-geotécnica, através do método da amostragem linear da superfície dos taludes das bancadas a desmontar, que ajudou a complementar o estudo e a caracterizar a zona de trabalhos.

Do estudo, presentemente desenvolvido, resultam os seguintes aspetos conclusivos:

- É fundamental a caracterização do maciço rochoso segundo os parâmetros definidos pela ISRM (1978, 1981), para conhecimento adequado das discontinuidades e singularidades detetadas nas faces expostas dos taludes do maciço rochoso, recorrendo a métodos práticos e eficientes, com sistematização das análises integradas num método expedito que é a técnica da amostragem linear;

- A caracterização geológico-geotécnica realizada no âmbito deste trabalho, assim como os resultados dos ensaios de caracterização da resistência à compressão do material rocha através do esclerómetro portátil (martelo de *Schmidt* do tipo L) corrobora com a definição do zonamento geotécnico, já realizado para esta pedreira, e sua caracterização;
- A falta de instrumentação (monitorização da direção e inclinação) do equipamento de perfuração, o Roc, potencia o erro de emboquilhamento, que consequentemente afeta toda a trajetória e posicionamento final do furo, agravando os desvios de flexão causados pela anisotropia do maciço;
- Ao analisar os resultados obtidos no emboquilhamento de ambas as pegadas de furo realizadas, constata-se que os furos foram emboquilhados com um erro médio de 1,32° para a direita no plano lateral (X) e com erro de 4° para a retaguarda no plano frontal (Y), consequência da carência de monitorização;
- A PF1, onde se executou furos com as duas ferramentas, o *Powerface* e o *Retrac* flat face, comprovou-se que os poucos furos que foram corretamente emboquilhados e que cumprem o furo de projeto (8°), apresentam uma trajetória retilínea com o posicionamento final do furo pretendido no caso do bit *Powerface*, ao contrário do *Retrac* que apresenta desvios de flexão exponenciais.
- Com a correção do emboquilhamento e recalculado um novo furo teórico furo a furo, assim como analisado o desvio em função desse novo furo teórico, nota-se que os desvios de flexão são minimizados;
- O bit *Powerface* tem melhor desempenho do ponto de vista da qualidade que os outros acessórios de perfuração (bits) de marcas e modelos variados aqui estudados, combatendo melhor os desvios tanto no plano lateral (X), como no plano frontal (Y), assim como uma tendência comum que estes acessórios têm em desviar lateralmente (X) para a direita.

- Relativamente ao maciço, a sua maior ou menor competência do ponto de vista da resistência influencia os desvios, neste caso podemos notar que a bancada mais competente potenciou maiores desvios;
- A redução de desvios desta nova tecnologia de perfuração influenciará todo um conjunto de parâmetros, nomeadamente a geometria da pega e o desmorte, pois com uma furação mais alinhada, podemos ajustar o diagrama de fogo, praticando malhas mais alargadas, com maiores distâncias á frente e espaçamentos, o que nos permitirá reduzir a perfuração específica (m/m³) com consequência da redução da carga específica (kg/m³), resultando numa otimização técnico-económica (€/m³);

Concisamente, a partir de todos os dados que foram estudados neste trabalho e os valores que deles se retiraram, pode-se afirmar que o bit Powerface da powerbit é nitidamente mais preciso, reduz os desvios de flexão causados pela anisotropia do maciço e executa uma trajetória de furo mais retilínea do que os restantes bits estudados.

Face ao exposto e tendo em consideração os objetivos deste trabalho, recomenda-se que os estudos futuros incidam sobre:

- Alargamento deste trabalho e desta avaliação, a outros maciços rochosos (com diferentes litologias/análises petrográficas) e outros bits da gama powerbit;
- O carro de perfuração, necessita de contribuir de forma inequívoca para uma linearidade constante na perspetiva de projeto quando se executa o furo. É indispensável que este equipamento possua uma instrumentação fiável para evitar o erro de emboquilhamento;
- Realizar pegas de fogo com comprimento de furo superiores ao aqui estudados, sabendo que este é um parâmetro do diagrama de fogo que mais influencia os desvios, potenciando assim os desvios de flexão;
- Executar o mesmo número de furos com a nova tecnologia e com a tradicional para uma representatividade mais equilibrada;

- Avaliar o rendimento que este acessório apresenta em conjunto com a avaliação da qualidade, para determinar as penetrações instantâneas, tempo de vida útil e respetivo processo de afiação de cada bit, e em função do preço unitário da aquisição da peça, determinar qual a opção técnico-económica mais viável;
- Tratando-se de uma nova tecnologia, é importante que se estude o impacto que esta tem, com os meios e ferramentas de execução de perfuração mais eficientes e recentes do ponto de vista tecnológico, como é o caso da vara guia, conhecidas pela redução dos desvios de flexão;



6.Referências Bibliográficas

(Página propositadamente em branco)

6. Referências Bibliográficas

- Aires-Barros L. (1991). Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa. 384 pp.
- Atlas Copco,s.d.. Secoroc rock drilling tools : Now arriving a new power, Powerbit T45 . 2016, 21 pp.
- Atlas Copco,s.d.. Surface drilling. Fourth edition, 255 pp.
- AtlasCopco, s.d..Blasthole Drilling in open pit. Third edition 2012,300pp.
- Atlas Copco,s.d.. Exploration Drilling. First edition,3: pp 10-13 pp.
- Bieniawski Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Interscience, John Wiley & Sons, New York,272 pp.
- Bock,H., 2006. Common ground in Engineering geology, soil Mechanics and rock Mechanics: past, present and future. Bull. Eng. Geol. Env., 65: 209-216.
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T., 2004. Rock mechanics for underground mining, 3rd Edition, George Allen Unwin, London. 527 pp.
- Brown, E. T., 1991. Da teoria à prática em mecânica das rochas. Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros, Ano IV, 48: pp. 9-29.
- Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000, folha 5-A – Viana do Castelo. Serviços Geológicos de Portugal.
- Carta Militar de Portugal, escala 1/25000, folha 28 - Ponte de Lima. IgeoE
- CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications. National Research Council, National Academy Press, 568 p.
- Chaminé, H. I. & Gaspar, A. F., 1995, Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto, 37: 97-111.
- Chaminé, H.I. (2016). Técnicas de amostragem em estudos de maciços rochosos fracturados: importância na prática da geologia estrutural, geociências de engenharia e mecânica das rochas. In: H.I. Chaminé , M.J. Afonso, A.C. Galiza (eds.), Eduardo Gomes (1931-2008): Engenheiro, Docente, Empreendedor - Uma Homenagem. Colecção LABCARGA-Geo|2, Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada & Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. p. 297-343.
- Chaminé, H.I., Pinheiro, R., Meirinhos, J., Santa, C., Pereira, R., Santos Silva, R., Moreira, P., Madureira, M.M., Martins, A., Fonseca, L., Ramos L. (2016). Aplicativos informáticos para análise e avaliação de dados de campo em geociências de engenharia, geotecnia e hidrogeomecânica de maciços rochosos fracturados: MGC-RocDesign|Calc e GeoTech|CalcTools. In: H.I. Chaminé , M.J. Afonso, A.C. Galiza (eds.), Eduardo Gomes (1931-2008): Engenheiro, Docente, Empreendedor - Uma Homenagem. Colecção LABCARGA-Geo|2, Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada & Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. p. 345 - 377.
- Chaminé, H.I., Afonso, M.J., Ramos, L., Pinheiro, R. (2015). Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty. In: Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F.,

- Marinos P., Delgado C. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects, IAEG, Springer, 6: 357-361.
- Chaminé, H.I., Afonso, M.J., Teixeira, J., Ramos, L., Fonseca, L., Pinheiro, R., Galiza, A.C. (2013). Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. *European Geologist Journal*, 36:27-33.
- Costa, 2007, Capítulo 3- Introdução à descrição e classificação das rochas. 15pp.
- Deere D.U., Deere D.W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In: Kirkaldie L., ed., *Rock classification systems for engineering purposes*, ASTM Special Publication, Philadelphia, STP984: 91-101.
- Dinis da Gama, C., 1995. Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de Canteras.
- López Jimeno, C. (Ed.). Cap. 10 del Manual de Rocas Ornamentales. Entorno Gráfico. S.L., Madrid, pp. 231-246.
- Ferrer, M. & González de Vallejo, L. [eds.], 1999, *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rochosos en afloramientos*. Publicaciones ITGE, Madrid. 81 pp, 41 fotografías.
- Fonseca, 2008. Interação e avaliação entre o maciço rochoso e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 225 pp. (Tese de Mestrado).
- Fonseca L., Ramos L., Galiza A.C., Chaminé H.I. (2010). Avaliação geomecânica de maciços rochosos fracturados e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas. In: *Actas do 12º Congresso Nacional de geotecnia, SPG/UM, Guimarães*, 10 p.
- GSE - Geological Society Engineering Group Working Party Report, 1995, the description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Geological Society, 28 (3): pp. 207-242.
- Galiza A.C., Ramos L. & Chaminé H.I. (2008). Controlo da qualidade geotécnica do desmonte do maciço rochoso através de uma perfuração alinhada. In: *Atas do 11º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Coimbra. Volume 1*, pp. 243-250.
- Galiza A.C.; Vieira A.; Gomes L., 2007-2008. Desmonte de Maciços Rochosos. Instituto Superior de Engenharia do Porto|ISEP, 159 pp
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L., Teixeira J. & Chaminé H.I., 2011. O papel da geotecnia mineira na otimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. *Boletim de Minas, DGEG, Lisboa*, 46(2): 103-120.
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011. Geotecnia mineira de maciços rochosos fraturados para o controlo da qualidade do desmonte. *Revista Ingenium da Ordem dos Engenheiros*, 124 (Jul/Agos): 76-80.
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011. Geomechanical control of jointed rock mass blasting by aligned drilling. In: Holmberg R. (ed.), *Lisbon Conference Proceedings 2011, EFEE – European Federation of Explosives Engineers*, pp.271-280.
- Góis J.C., Vieira A., Galiza A.C., Bernardo P., Gomes C. & Chaminé H.I., 2012. Manual do operador de produtos explosivos. Associação Portuguesa de Estudos e Engenharia de Explosivos / Associação Nacional da Indústria Extractiva e Transformadora. 169 pp
- González de Vallejo L.I. & Ferrer M., 2011. *Geological engineering*. CRC Press, Taylor-Francis group, 725 pp.

- González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M; Ortuño, L. & Oteo, C. [coords.], 2002. Ingeniería geológica Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- Goodman, R., 1993. Engineering geology: Rock in engineering construction. John Wiley & Sons, New York, 412 pp.
- GSE [Geological Society Engineering Group Working Party Report] (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society, 28(3):207-242.
- Hammer. BGRG Technical Bulletin 18, 19–29.
- Hoek E., 1996. Rock mechanics an introduction for the practical engineer Parts I, II and III (April, June and July 1966). Mining Magazine. 67 pp.
- Hoek, E., 2007. Practical rock engineering. RocScience: Hoek's Corner, 342 pp.
- Holmberg, R., [Editor], 2003. Explosives and blasting technique. Proceeding of the EFEE 2nd World Conference. Taylor & Francis, 632 pp.
- Hudson, J. A & Priest, S. D., 1983. Discontinuity frequency in rock masses Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 20: pp. 73-89.
- Hudson J.A. & Cosgrove J.W., 1997. Integrated structural geology and engineering rock mechanics approach to site characterization. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 34(3/4): p136.1-p136.15
- IAEG – International Association Engineering Geology, 1981a,. Recommended symbols for engineering geological mapping, Bulletin IAEG, 24: 227-234.
- IAEG – International Association Engineering Geology, 1981b. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 235-274.
- IAEG – International Association Engineering Geology, 2005. Special purpose mapping for waste disposal sites. Bulletin IAEG, 64: 1-54.
- I.S.R.M. – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanics. 15 (6): pp. 319-368.
- I.S.R.M. – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1981. Basic geotechnical Description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Sci. & Geom. Abstr., 18: pp. 85-110.
- I.S.R.M. – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1985. Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geom. Abstr., 22.
- I.S.R.M. – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1987. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rock Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr., 15: pp.89-97.
- ISRM – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 2007. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay , R. & Hudson , J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.
- ISRM – INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 2015. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007–2014. In: Ulusay R., ed., suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM. Springer, Cham, Heidelberg. 293 pp.

- ISSE-International Society of explosives Engineers (1998). Blasters' Handbook. 17th edition, 16: pp.271-287.
- Jimeno, C.L., 1995. Drilling and blasting of rocks. Taylor & Francis, 400 pp.
- Kahraman S., Fener M. & Gunaydin O., 2002. Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 39: 395-399.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial Compressive strength of rock Int. J. Rock Mech Min. Sci., 38: 981-94.
- Katz O., Rechsa Z. & Roegiersc J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37: 723-728
- Langefors, U. & Kihlstrom, B., 1978. The modern technique of rock blasting. 3rd revised edition. John Wiley and Sons Ltd, New York, 438 pp.
- Lima, J., 2014. Otimização do processo de perfuração em maciços rochosos: consequências técnico-económicas. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 165 pp. (Tese de mestrado)
- Lisle R.J. & Leyshon P.R., 2004. Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers. Second Edition, Cambridge University Press. 112 pp.
- López Jimeno C., (2003). Manual de túneles y obras subterráneas. ETSIM, Univ. Polit. Madrid. 1082 pp.
- Mandl G., (2005). Rock joints: the mechanical genesis. Springer--Verlag. 221 pp.
- Martins, R.; Moreira, P.; Pereira, C.S.; Neto, E.; Pereira, A.M.; Teixeira, J.; Vieira, A. e Chaminé, H.I. 2006. A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no norte de Portugal. In: Actas do 10º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa.
- Miranda T., Gomes Correia A. & Ribeiro e Sousa L., (2006). Determinação de parâmetros geomecânicos em formações rochosas maciços heterogêneos. Revista Engenharia Civil, UM, 25: 17-40.
- Miller R.P., 1965. Engineering classification and index properties for intact rock. University of Illinois. (PhD Thesis)
- Price D.J., (2009). Engineering geology: principles and practice. Springer. 450 pp.
- Tsiambaos G. & Saroglou H., (2010). Excavability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). Bull. Eng. Geol. Environ., 69: 13-27.
- Martins, R., Moreira, P., Santos Pereira, Neto, E., Pereira, A. M., Teixeira, J.; Vieira, A. & Chaminé, H.I., 2006. A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no norte de Portugal. In: Actas do 10º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa. Volume 1, pp. 255-264.
- Mandl, G., 2005. Rock Joints: the mechanical genesis. Springer-Verlag, 221 pp.
- Palmström, A., 1995. RMI: a rock mass characterization system for rock engineering purposes. University of Oslo, 400 p. (Tese de Doutoramento).

- Palmström, A. & Singh R., 2001. The deformation modulus of rock masses: comparisons between in situ tests and indirect estimates. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 16 (3): 115-131.
- Pinto, J., 2013. Controlo e Optimização da Perfuração. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 162pp. (Tese de mestrado)
- Pereira, J. J. C. P., 1985, Caracterização geotécnica de maciços rochosos. Universidade Nova de Lisboa. 404 pp., Tese de Mestrado.
- Persson, P. A.; Holmberg, R. & Lee, J., 1993. Rock blasting and explosives engineering. CRC Press. 560 pp.
- Pinheiro, R., Ramos, L., Teixeira, J., Afonso, M.J., Chaminé, H.I., 2014. MGC–RocDesign|CALC: a geomechanical calculator tool for rock design. In: L.R. Alejano, A. Peruchó, C. Olalla & R. Jiménez (Eds.), *Proceedings of Eurock2014, Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses (ISRM European Regional Symposium, Vigo, Spain, 26-28 May 2014)*, CRC Press/Balkema Taylor & Francis Group, London, p. 655-660. (on pen-drive insert, ISRM Paper CH100).
- Press, F. & Siever, R., 1998. *Understanding Earth*. Second edition. W. H. Freeman and Company, New York. 682 pp.
- Price D.G., 2009. *Engineering Geology: Principles and Practice*. Springer. 450 pp.
- Priest S.D., 1993. *Discontinuity analysis for rock engineering*. Chapman and Hall. London, 473 pp.
- Priest, S. D. & Hudson, J. A., 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18.
- Ramos, L., 2008. Avaliação geotécnica e geomecânica de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP, 197 pp. (Tese de mestrado).
- Rocha, M., 1981. *Mecânica das rochas*. LNEC, Lisboa.
- Sandvik Tamrock, 1999. *Rock excavation handbook for civil engineering*. GB, 363 pp.
- Sandvik-Tamrock, 2009. *Rock excavation handbook*. Sandvik Tamrock Corp.
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59 (8): 34-35.
- Silva, D. 2014. Cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento e valorização da exploração do georrecurso: o caso do maciço rochoso da Curviã (Joane). Instituto Superior de Engenharia do Porto. 133pp (Tese de mestrado).
- Terzaghi, R., 1965. Sources of errors in joint surveys. *Geotechnique*, 15: 287-304.

(Página propositadamente em branco)



7.Anexos

(Página propositadamente em branco)

7. Anexos

Anexo I- Mapas topográficos e geológicos (CD);

Anexo II- Mapa de declives da área envolvente da pedreira de Serdedelo (CD);

Anexo III- Fichas de levantamento Geológico-Geomecânico (CD);

Anexo IV - BD do levantamento Geológico e Geomecânico da pedreira de Serdedelo (CD);

Anexo V - BD dos ensaios do martelo de Schmidt da pedreira de Serdedelo (CD);

Anexo VI - BD dos resultados desvios de perfuração de 2008 (CD);

Anexo VII – Dados Boretrak e Excel resultados dos desvios de perfuração 2017 (CD)